

وزارة التعليم العالي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

دائرة الهندسة الميكانيكية  
Département de Génie Mécanique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

THESE DE MAGISTERE EN CONSTRUCTION MECANIQUE

Présentée Par : Messaoud FAOUSSI

Etude sur la Sélection Optimale  
des Elements de la chaine  
cinématique des véhicules de  
Transport Routier

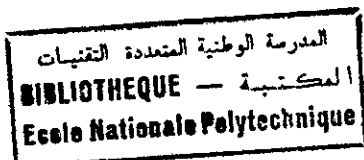
Devant le Jury :

Président : Mr. A. GAHMOUSSE, Professeur

Rapporteur : Mr. W. KUROWSKI, Maître de Conférence

Examineurs : Mrs. {  
- S. RECHAK, Maître de Conférence  
- M. KSIAZEK, Docteur es Sciences  
- N.D. BOUDJEMAA, Doctorat d'Université

## Table de matières



Titres	Pages
<b>Chapitre 1 : Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1. Généralités .....	1
1.2. Objectif de l'étude .....	3
1.3. Système de propulsion .....	4
1.3.1. Le moteur .....	5
1.3.2. La transmission .....	6
1.4. Couplage : moteur - transmission .....	8
1.5. Hypothèses - Plan de l'étude .....	8
 <b>Chapitre 2 : Etude du modèle : Véhicule - Route .....</b>	 <b>13</b>
2.1. Caractéristique de marche .....	13
2.1.1. Equations du mouvement d'un véhicule .....	13
2.1.2. Composantes de la caractéristique de marche ..	16
2.2. Caractéristique de propulsion .....	20
2.2.1. Caractéristiques du moteur .....	20
2.2.2. Transformation des caractéristiques .....	21
2.3. Diagramme de fonctionnement .....	22
2.4. Performances d'un véhicule .....	24
 <b>Chapitre 3 : Conception d'une méthode globale de simulation M.G.S .....</b>	 <b>29</b>
3.1. Principales phase de la M.G.S .....	29
3.2. Schéma générale de la M.G.S .....	30
3.3. Organisation de la M.G.S .....	32
 <b>Chapitre 4 : Ajustement des caractéristiques d'un moteur par des expressions analytiques .....</b>	 <b>35</b>

4.1.	Méthode d'approche .....	35
4.2.	Formule d'approche .....	36
<b>Chapitre 5 : Système conditionné de propulsion .....</b>		<b>43</b>
5.1.	Détermination des caractéristiques cinématiques de l'élément manquant .....	43
5.2.	Equation modèle .....	43
5.3.	Paramètres de l'équation modèle .....	44
5.4.	Modèle de route .....	48
5.5.	Méthode de calcul .....	52
5.6.	Détermination des performances des véhicules équipés par système conditionné de propulsion .....	53
5.6.1.	Equation modèle .....	53
5.6.2.	Méthode de calcul .....	54
<b>Chapitre 6 : Détermination des performances des véhicule S.N.V.I/C.V.I de Rouiba .....</b>		<b>57</b>
6.1.	Equation modèle .....	57
6.2.	Méthode de calcul .....	58
<b>Chapitre 7 : Exploitation des résultats .....</b>		<b>59</b>
<b>Conclusion .....</b>		<b>65</b>
<b>Bibliographie .....</b>		<b>66</b>
 <b>Annexes:</b>		
I.	Logiciel de la M.G.S .....	68
II.	Fiche d'utilisation du logiciel de la M.G.S .....	135

## Symboles utilisés

- $N(I2)$  : Vitesse de rotation à la sortie de la boîte de vitesses.  
 $Nr$  : Vitesse de rotation des roues motrices.  
 $V$  : Vitesse de marche du véhicule.  
 $N(J)$  : Régime nominal du moteur  
 $W(J)$  : puissance nominale du moteur  
 $M(J)$  : Moteur indice J.  
 $B(I2)$  : Boîte de vitesses indice I2.  
 $Q1(J2)$  : Rapport de transmission du pont indice J2.  
 $Q2(J3)$  : Rapport de transmission de la boîte de vitesses.  
 $Q3(J4)$  : Rapport de transmission de la boîte de transfert.  
 $N1, N2$  : Nombres des éléments disponibles au stock du C.V.I  
 $N3, N4$  : respectivement (moteurs, boîtes de vitesses, boîtes de transfert et ponts).  
 $Cs(N)$  : Consommation spécifique.  
 $M(N)$  : Couple moteur.  
 $P(N)$  : Puissance.  
 $\lambda$  : Coefficient d'inertie des éléments tournants.  
 $G_i$  : Poids du corps, celui de l'essieu, et celui du pont.  
 $m_i$  : Masse du corps, celle de l'essieu, et celle du pont.  
 $I$  : Moment d'inertie des éléments tournants portés par l'essieu et le pont.  
 $X1, X2$  : Effort de propulsion.  
 $M1, M2$  : Couples de propulsion.  
 $U1, U2$  : Résistance de la chaussée.  
 $Y1, Y2$  : Effort d'appui corps/essieu, corps/pont.  
 $P1, P2$  : Effort d'appui roues/sol.  
 $Rx, Ry$  : Trainée et portance aérodynamique.  
 $M/c$  : Moment tenant compte de la réduction de  $Rx$  et  $Ry$  au centre de masse, c.  
 $f$  : Coefficient global de résistance au roulement.  
 $p(I1)$  : Pentes de cotes surmontées.  
 $G$  : Poids total roulant.  
 $\ddot{x}$  : Accélération de translation.  
 $g$  : Accélération de la pesanteur.  
 $\rho$  : densité de l'air.  
 $S$  : Surface frontale du véhicule.  
 $Cx$  : Coefficient de la trainée aérodynamique.  
 $\eta_c$  : Rendement du cycle moteur.  
 $\eta(J2)$  : Rendement du pont indice J2.  
 $\eta(J3)$  : Rendement du rapport J3 de la boîte de vitesses.  
 $\eta(J4)$  : Rendement du rapport J4 de la boîte de transfert.  
 $\eta_m$  : Rendement global de la transmission.  
 $C3(i)$  :  $i=1,2,3$ : Coefficient de l'expression analytique de puissance.

Qg(I) : Rapport global de transmission.  
R : Rayon sous charge de pneumatique .  
M(K2) : La masse correspondante à la charge roulante  
Gi,mi : poids et masse du corps, du pont et de l'essieu.

Abréviations:

M.G.S : Méthode globale de simulation .  
S.N.V.I: Entreprise nationale des véhicules industriels .  
C.V.I : Complexe des véhicules industriels .

# ETUDE SUR LA SELECTION OPTIMALE DES ELEMENTS DE LA CHAÎNE

## CINEMATIQUE DES VEHICULES DE TRANSPORT ROUTIER

Thèse de Magister

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Etudiée par M. Faoussi, M.A.S  
Directeur de thèse W. Kurowski, Maître de conférence

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Mécanique  
Laboratoire de mécanique du solide

ملخص :

تتمثل هذه الدراسة في اعداد طريقة شاملة للاختيار النظري للعربات الصناعية بواسطة الناطمة الآلية وسيكون من شأن هذا الاختيار أن يسمح بتحديد مجموعة المميزات المرتبطة بالسير بالنسبة للشاحنات المجهزة بالمنظومات الحزنية المستعملة من طرف الم. و. ع. ص. - م. ع. ص. و. يسمح تحليل هذه المميزات لهذا المصمم بالانتقاء الملائم لعناصر منظومات الدفع التي تدخل في تركيب شاحناته.

### Abstract

This study deals with a dynamic modeling of a road vehicle system in general and a global computer simulation of the vehicle behaviour in order to determine the road characteristics of SNVI-CVI sub-assemblies. The analysis of the obtained performances will guide the constructor as to the appropriate choice of sub-assemblies which best fit the kinematic chain of the vehicles.

### Résumé

Cette étude consiste à élaborer une méthode globale de simulation par ordinateur des véhicules industriels sur route équipés des sous-ensembles (S.N.V.I/C.V.I) afin de déterminer l'ensemble de leurs performances routières. L'analyse de ces performances devra permettre au constructeur de faire le choix approprié des sous-ensembles les mieux adaptés à la chaîne cinématique de ses véhicules.

## 1.1. Généralités

La conception d'un système technique est un processus assez complexe ; dans la mesure où il fait intervenir plusieurs spécialités de la technologie et de la science, selon la nature et l'envergure du système considéré . Nous indiquerons dans ce paragraphe les principales phases qui marquent la conception d'un véhicule de transport routier :

### 1) Initiation

Cette phase consiste en la mise en route du projet, où le constructeur communique au département d'études les spécifications de base de l'engin qu'il désire construire (véhicule routier lourd assurant le transport d'une charge de 33 tonnes, sur de longs trajets pouvant comporter des cotes à pente supérieures à 50% , roulant à une vitesse moyenne supérieure à 70 Km/h , et à une vitesse supérieure à 100 Km/h sur palier, avec une consommation de 35 litres/100 Km ... ).

### 2) Organisation de l'étude

Le département d'études se met à l'oeuvre pour envisager deux questions liées: l'architecture du véhicule et ses organes mécaniques . A ce niveau on détermine les grandes lignes de l'étude , et on commence à faire les premières esquisses d'une solution qui constitue l'avant projet . A vrai dire il n'y a pas qu'une seule solution pour construire un système , et l'on doit opter pour une solution convenable parmi celles qui semblent les meilleures .

### 3. Conception provisoire

Le but à atteindre dans cette phase consiste à mettre en place une première version de ce qu'on appelle "le système" . L'établissement d'un ensemble satisfaisant, de spécifications fonctionnelles qui caractérisent le système , marque la fin de cette phase .

### 4. Conception définitive

L'objectif de cette phase consiste à mettre au point l'ensemble de spécifications fonctionnelles du système . Il s'agit d'un travail de finition , où l'équipe chargée de l'étude de ce système déclare d'un commun accord que l'équipe chargée du matériel peut entamer la construction d'un prototype à l'abri de tous changements ultérieurs autres que ceux suggérés par cette équipe elle-même .

## 5) Construction d'un prototype

## 6) Essais du système

Le but des essais est d'éprouver dans quelle mesure le système fonctionne conformément aux prévisions faites et de corriger les éventuelles déviations avant de lancer le montage en grandes séries .

L'étude que nous menons dans cette thèse se limite à une seule étape de processus global de construction d'un système véhicule de transport routier . Cette étape utilise comme outil la simulation qui intervient au niveau du modèle décrivant l'état de marche de ce véhicule sur route , afin de déterminer ses performances . La technique utilisée actuellement construit les systèmes divers à partir des sous-systèmes et éléments de caractéristiques différentes .

Un véhicule est un système mécanique constitué d'un moteur, d'une boîte de vitesses, d'une boîte de transfert, d'un pont, d'une benne, d'un châssis, etc ... . Ces sous-systèmes et éléments sont fabriqués en grandes séries par différentes firmes et départements spécialisés . Pour ces firmes et départements , l'objectif est d'obtenir un bon élément (bon marché, fiable, léger, moins encombrant, etc...), sans que ces éléments ne soient destinés au préalable à un véhicule déterminé . Ceci rend plus rentable la fabrication en grandes séries . Les coûts de fabrication diminuent et la compétitivité du produit fabriqué augmente avec la division scientifique du travail et la spécialisation des constructeurs .

Ce sont ces raisons ci qui ont donné naissance à l'idée de développer des procédures de construction de systèmes à partir des éléments mentionnés , de manière à assurer le fonctionnement efficace du système en question dans les conditions prévues pour son exploitation . Deux tâches de nature différentes sont à envisager :

- Fabriquer des sous-systèmes et éléments de meilleure qualité .
- Assembler ces sous-systèmes et éléments pour construire des systèmes pour une application déterminée .

Le problème de la sélection optimale des sous-systèmes et éléments pour la construction d'un système (véhicule) devient primordial dans la mesure où il est possible de construire de façon programmée les systèmes possédant les propriétés requises . Ainsi , le même type de véhicule peut être construit pour satisfaire le critère de la vitesse maximale de marche pour satisfaire le critère de la consommation minimale du carburant , pour satisfaire le critère de la pente maximale surmontée ou pour satisfaire d'autres critères . Cette sélection peut être



bonne, ou mauvaise. Pour obtenir le meilleur choix il faut appliquer une procédure appropriée. La diversité du choix des éléments et sous-systèmes a rendu la technique de construction des systèmes assez complexe. Pour cela, on fait appel à l'assistance d'ordinateur qui consiste à élaborer une procédure de calcul permettant d'obtenir les informations utiles afin de sélectionner la variante qui répond le mieux aux conditions requises. Faire intervenir l'ordinateur à ce stade se justifie par toute une multitude d'avantages /16/ :

- Dispenser l'ingénieur de calculs répétitifs innombrables.
- Permettre de faire un choix adéquat et rapide à partir de n'importe quel stock de sous-systèmes.
- L'assistance d'ordinateur simule le comportement du système (la marche d'un véhicule sur route), avant même de le construire à partir des caractéristiques des parties qui le composent. Cette simulation qui tient lieu d'un essai préalable, permet de faire sortir les performances requises d'un système avant de le construire. Cela offre la possibilité de coupler un grand nombre de variantes caractérisées chacune par des performances appropriées.

Tout cela montre que l'utilisation d'un ordinateur joue en quelque sorte le rôle d'un banc d'essai dans la technologie de montage de l'industrie de l'automobile. C'est dans ce concept général que se situe le sujet traité dans cette thèse. Ce sujet a été suggéré par la S.N.V.I./C.V.I dans le souci d'améliorer l'adaptation de ses véhicules aux conditions d'utilisation, comme le font les différents constructeurs à travers le monde.

## 1.2. Objectif de l'étude

Le thème de cette thèse vise donc à élaborer une méthode globale de simulation pour le choix approprié des sous-systèmes constitutifs (moteur, boîte de vitesses, boîte de transfert, pont), afin de construire un véhicule de transport lourd possédant les performances routières requises (vitesse de marche sur palier, vitesse moyenne de marche, consommation moyenne du carburant, couple maximal, pente maximale, etc...). La raison de développer une telle méthode réside dans la nécessité de disposer d'un outil scientifique permettant de résoudre le problème du choix des éléments lors du montage des véhicules.

La notion de modélisation exige la distinction entre deux catégories de sous-systèmes :

- Ceux qui sont en rapport direct avec les performances que l'on désire donner au véhicule .
- Ceux qui n'ont pas une influence marquée sur ces performances , mais qui sont liés à d'autres types de contraintes .

Sont inclus dans cette deuxième catégorie à titre d'exemple :

- La cabine du conducteur qui est choisie en vertu des facteurs aérodynamiques et ceux de sécurité et de confort .
- La benne qui est construite en fonction de la charge à transporter .
- Les pneumatiques qui sont choisis en fonction du terrain d'exploitation du véhicule et de la charge à transporter .

Le champ de cette étude s'étend donc uniquement à la première catégorie des sous-systèmes et éléments dont dépendent d'une manière décisive les performances de marche d'un camion ; à savoir :

- Le moteur
- La boîte de vitesses
- La boîte de transfert
- Le pont

L'étude sera faite sur les sous ensembles utilisés par la S.N.V.I/C.V.I de Rouiba , dont le stock contient N1 moteurs , N2 boîtes de vitesses , N3 boîtes de transfert et N4 ponts . Elle est destinée entre autre à donner aux ingénieurs y travaillant un document qui leur servira de guide lorsqu'ils envisagent le montage de nouvelles variantes de véhicules. Il leur permettra aussi de vérifier l'optimalité du choix relatif à leurs véhicules en circulation .

### 1.3. Système de propulsion

Le système de propulsion, figure (1.1), est formé d'un couplage de deux parties :

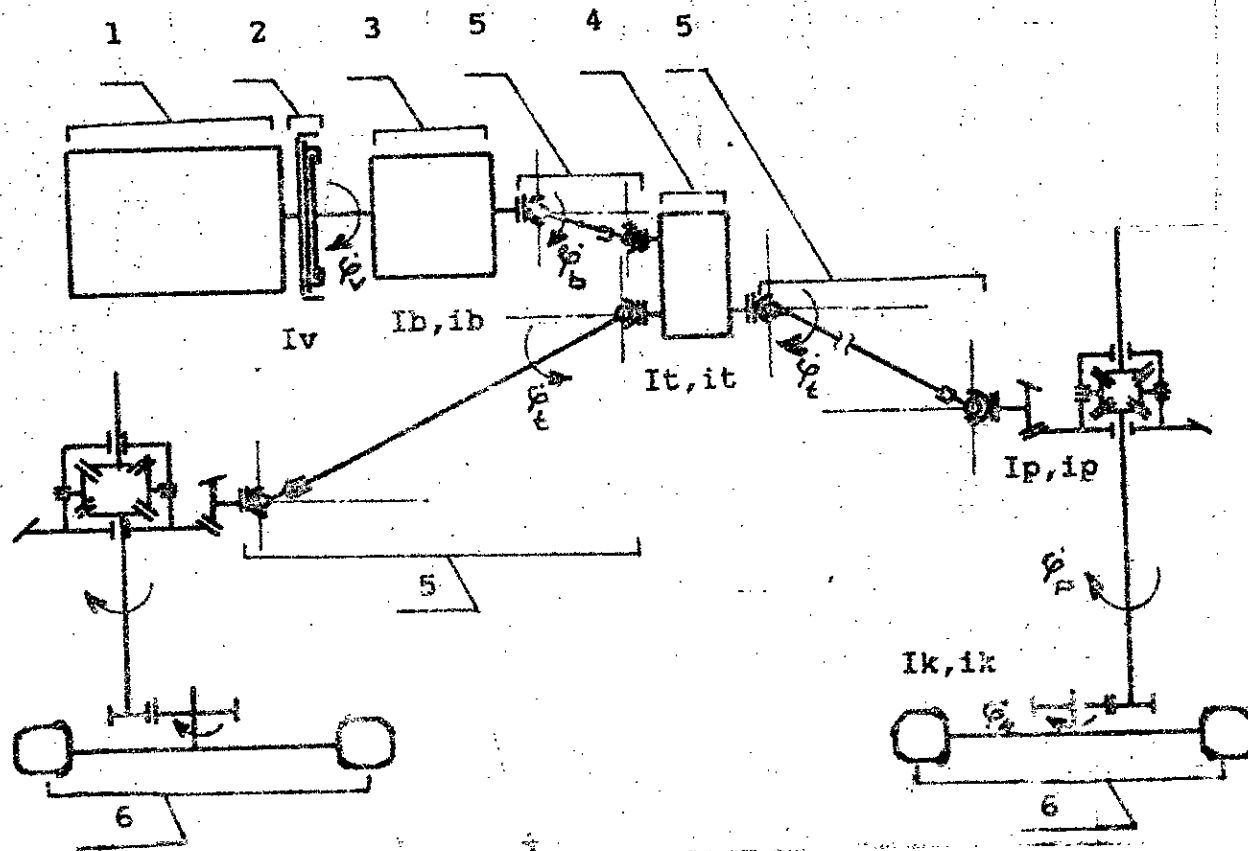


fig 1.1- Chaîne cinématique d'un prototype de véhicules S.N.V.I/C.V.I

- 1- Moteur
- 2- Volant + Embrayage
- 3- Boite de vitesses
- 4- Boite de transfert
- 5- arbres de transmission
- 6- Ponts: avant et arrière

### 1.3.1. Le moteur

Cet élément est caractérisé par trois courbes, figure(1.2), représentant , en fonction du régime moteur  $N$  (Tr/min) :

- la consommation spécifique  $C_s(N)$
- le couple  $M(N)$
- la puissance  $P(N)$

Ces courbes sont tracées à partir des résultats expérimentaux relevés sur banc d'essais . Pour les adapter au calcul sur ordinateur , ces caractéristiques seront exprimées par des fonctions analytiques de type:

$$P(N, C_1, C_2, \dots, C_m) \quad (1.1)$$

On recommande de faire fonctionner le moteur selon les paramètres nominaux  $N(J)$  et  $W(J)$  . Pour ce faire , il faut que la chaîne cinématique soit conçue de manière à permettre de faire fonctionner ce moteur sur le point  $(N(J), W(J))$  pour diverses conditions de marche . Une telle chaîne cinématique constitue une référence pour le constructeur de camions . Celui-ci cherchera donc à s'approcher le plus de cette situation idéale, en adoptant le moteur le mieux approprié, et un système de transmission qui lui sera le mieux adapté .

### 1.3.2. La transmission

Ce système est formé par couplage d'une boîte de vitesses , d'une boîte de transfert et de un ou plusieurs ponts . La boîte de vitesses et la boîte de transfert sont caractérisées par le nombre de rapports que chacune comporte , leur rapport de réduction (ou raison), leur rendement mécanique. A son tour, le pont est caractérisé par son rapport de transmission et son rendement mécanique . En outre , ces trois éléments sont caractérisés chacun par le couple admissible qu'ils peuvent supporter , ainsi que la vitesse maximale qu'ils peuvent transmettre . Les ingénieurs du C.V.I sont donc tenus de vérifier la compatibilité des différents éléments du point de vue couple et vitesse admissibles avant de procéder à leur couplage . (Quoique le logiciel associé à la M.G.S procède de son côté à cette vérification ) .

Pour qu'un système de transmission soit le mieux adapté, il doit permettre le fonctionnement du moteur selon l'intersection de la caractéristique de marche  $P(V)$  avec la caractéristique de propulsion  $P(N)$  sur un point correspondant aux paramètres nominaux  $N(J)$  ,  $W(J)$  , pour diverses conditions de marche , figure (1.2) . Pour qu'il en soit ainsi, il faut et il suffit que le rapport global de transmission correspondant à

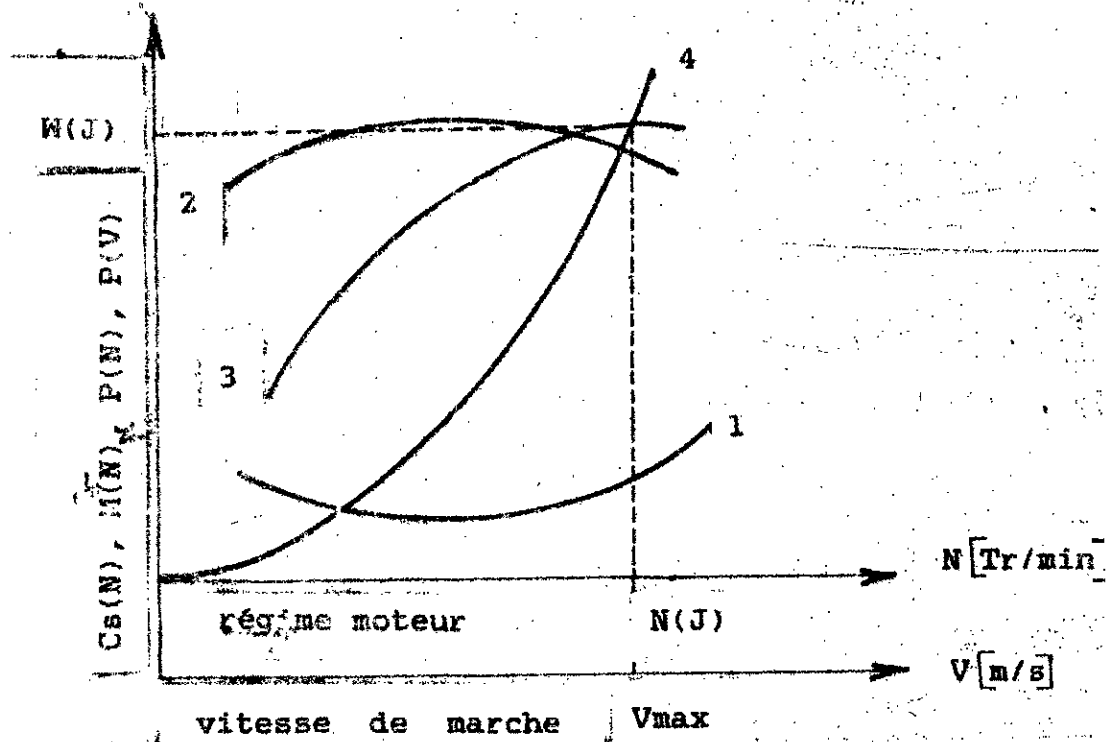


fig 1.2- Courbes caractéristiques d'un moteur

- 1- Consommation spécifique  $Cs(N)$
- 2- Couple  $M(N)$
- 3- Puissance en fonction du régime moteur  $P(N)$
- 4- Puissance en fonction de la vitesse de marche du véhicule  $P(V)$

chaque rapport de boîte de vitesses soit le plus proche de celui qu'on obtiendra par la formule :

$$Q_g = 3,14.R.N(J)/30.V_{max} \quad (1.2)$$

ou  $V_{max}$  représente la vitesse de marche que l'on obtiendra en résolvant une équation du type :

$$F(V, M(K2), P1(I), f, S, Cx, W(J), \eta_m) = 0 \quad (1.3)$$

La form. (1.2) découle de la relation liant la vitesse de rotation du moteur  $N(J)$ , la vitesse du véhicule  $V$  le rayon des pneus  $R$  et le rapport global de transmission  $Q_g$ .

#### 1.4. Couplage : moteur-transmission

Ce couplage se réalise en deux étapes :

- Couplage de la boîte de vitesses, de la boîte de transfert et du pont qui constitue la chaîne de transmission, tableau (1.1).
- Couplage de la chaîne de transmission et du moteur qui forment le système de propulsion du véhicule, tableau (1.2).

#### 1.5. Hypothèses - plan de l'étude

Pour faire le choix approprié du système de propulsion, il faut comparer les possibilités offertes par toutes les combinaisons figurant dans le tableau (1.2), avec les exigences de l'exploitation du camion. Pour cela, il faut établir un cycle de marche de ce camion sur route en considérant sa fonction, ses propriétés dynamiques et aérodynamiques, la route à parcourir, les conditions météorologiques, la charge à transporter, etc ...

Les conditions météorologiques sont supposées sans influence marquante ; d'autant plus que le climat de l'Algérie est plutôt uniforme (pas de neige fréquente, pas de glace sur routes, vitesse du vent quasi-nulle). Le facteur qui joue un rôle de premier ordre dans ce genre d'étude est bien le profil de route que l'on représente sous forme d'un modèle. Nous ne disposons pas des résultats de mesure sur des routes algériennes. Ces recherches sortent du champ de cette thèse. Par conséquent, nous modélisons la route selon les résultats publiés. Cela n'empêche en aucune façon de substituer les données réelles le cas échéant. Les travaux effectués à cet égard, /7/, /8/, suggèrent de décrire la route par un modèle composé de classes discrètes. Chaque classe est caractérisée par un certain nombre de grandeurs constantes (pente, rugosité, virage et autres obstacles). Le modèle indiquera aussi le pourcentage de chaque trajet partiel dans la totalité du trajet sur lequel on fait circuler le véhicule. Il y a lieu de signaler que la question du choix du groupe motopropulseur est liée aussi avec le phénomène accélératoire intervenant lors de la marche du véhicule. En effet, plus la réserve d'accélération est importante plus le temps nécessaire pour atteindre la vitesse maximale de marche sera plus court. Ceci est vrai sur le plan théorique. Cependant, en pratique, les véhicules lourds sont destinés à faire de grands

Tableau(1.1):Couplage Des Elements De La Transmission

$P(J2)$ $B(I2), BT(I3)$	$P(1)$	$P(2)$	.....	$P(N3)$
$B(1), BT(1)$	$B(1), BT(1), P(1)$	$B(1), BT(1), P(2)$	.....	$B(1), BT(1), P(N3)$
$B(1), BT(2)$	$B(1), BT(2), P(1)$	$B(1), BT(2), P(2)$	.....	$B(1), BT(2), P(N3)$
.....	.....	.....	.....	.....
$B(1), BT(N4)$	$B(1), BT(N4), P(1)$	$B(1), BT(N4), P(2)$	.....	$B(1), BT(N4), P(N3)$
$B(2), BT(1)$	$B(2), BT(1), P(1)$	$B(2), BT(1), P(2)$	.....	$B(2), BT(1), P(N3)$
$B(2), BT(2)$	$B(2), BT(2), P(1)$	$B(2), BT(2), P(2)$	.....	$B(2), BT(2), P(N3)$
.....	.....	.....	.....	.....
$B(2), BT(N4)$	$B(2), BT(N4), P(1)$	$B(2), BT(N4), P(2)$	.....	$B(2), BT(N4), P(N3)$
.....	.....	.....	.....	.....
$B(N2), BT(1)$	$B(N2), BT(1), P(1)$	$B(N2), BT(1), P(2)$	.....	$B(N2), BT(1), P(N3)$
$B(N2), BT(2)$	$B(N2), BT(2), P(1)$	$B(N2), BT(2), P(2)$	.....	$B(N2), BT(2), P(N3)$
.....	.....	.....	.....	.....
$B(N2), BT(N4)$	$B(N2), BT(N4), P(1)$	$B(N2), BT(N4), P(2)$	.....	$B(N2), BT(N4), P(N3)$

Tableau(1.2):Couplage Moteur-Transmission

$M(J)$ $B(I_2), BT(I_3), P(J_2)$	$M(1)$	$M(2)$	.....	$M(N_1)$
$B(1), BT(1), P(1)$	$M(1), B(1), BT(1), P(1)$	$M(2), B(1), BT(1), P(1)$	.....	$M(N_1), B(1), BT(1), P(1)$
$B(1), BT(2), P(1)$	$M(1), B(1), BT(2), P(1)$	$M(2), B(1), BT(2), P(1)$	.....	$M(N_1), B(1), BT(2), P(1)$
.....	.....	.....	.....	.....
$B(1), BT(N_4), P(1)$	$M(1), B(1), BT(N_4), P(1)$	$M(2), B(1), BT(N_4), P(1)$	.....	$M(N_1), B(1), BT(N_4), P(1)$
$B(1), BT(1), P(2)$	$M(1), B(1), BT(1), P(2)$	$M(2), B(1), BT(1), P(2)$	.....	$M(N_1), B(1), BT(1), P(2)$
$B(1), BT(2), P(2)$	$M(1), B(1), BT(2), P(2)$	$M(2), B(1), BT(2), P(2)$	.....	$M(N_1), B(1), BT(2), P(2)$
.....	.....	.....	.....	.....
$B(1), BT(N_4), P(N_3)$	$M(1), B(1), BT(N_4), P(N_3)$	$M(2), B(1), BT(N_4), P(N_3)$	.....	$M(N_1), B(1), BT(N_4), P(N_3)$
.....	.....	.....	.....	.....
$B(2), BT(1), P(1)$	$M(1), B(2), BT(1), P(1)$	$M(2), B(2), BT(1), P(1)$	.....	$M(N_1), B(2), BT(1), P(1)$
$B(2), BT(2), P(1)$	$M(1), B(2), BT(2), P(1)$	$M(2), B(2), BT(2), P(1)$	.....	$M(N_1), B(2), BT(2), P(1)$
.....	.....	.....	.....	.....
$B(N_2), BT(N_4), P(N_3)$	$M(2), B(N_2), BT(N_4), P(N_3)$	$M(2), B(N_2), BT(N_4), P(N_3)$	.....	$M(N_1), B(N_2), BT(N_4), P(N_3)$



trajets entre villes . La quasi-totalité de ces trajets sera parcourue à des vitesses constantes selon les caractéristiques de la portion considérée du trajet à parcourir . De ce fait , le phénomène accélératoire constitue un pourcentage négligeable dans les facteurs intervenant dans le processus global du transport routier . C'est la raison pour laquelle ce phénomène transitoire (accélération , décélération ) n'est pas pris en considération dans ce type d'études , ou on admet que la course est composée des parties qui seront parcourues avec différentes vitesses constantes .

La littérature publiée sur ce genre de sujet ne touche que l'aspect concernant la résistance de marche , et la transformation de la caractéristique de propulsion , dans le modèle véhicule-route , /1/ , /2/ , /20/ . Sur les autres aspects de ce sujet , à savoir le modèle , l'algorithme et le système informatique de simulation , rien de substantiel n'est communiqué , à part quelques commentaires qui ne touchent en rien au fond du problème , /8/ , /14/ . Ceci est dû à l'intérêt industriel lié à ce sujet . A notre sens , le mérite de ce travail réside dans la conception d'une méthode globale de simulation considérant les trois aspects ci-dessus . C'est ce que nous allons aborder dans les chapitres 3 , 4 , 5 , 6 , 7 et les annexes I et II.

Le plan de travail comporte sept chapitres , une conclusion et deux annexes .

Le premier chapitre consiste en une introduction permettant de présenter le sujet objet de notre étude.

Le deuxième chapitre contient l'analyse du modèle véhicule-route , conduisant à la déduction de la caractéristique de marche . Les caractéristiques de propulsion et leur transformation seront abordées par la suite . Enfin , on a établi les relations donnant l'ensemble des performances du camion .

Le troisième chapitre est consacré à la conception d'une méthode globale de simulation de la marche d'un véhicule sur route . Le logiciel de cette méthode comporte trois principaux blocs : A , B et C .

Le quatrième chapitre traite l'ajustement des caractéristiques des moteurs par expressions analytiques . La méthode et la formule d'approche y sont indiquées , ainsi que l'algorithme de résolution .

Le cinquième chapitre est consacré à la préparation des

paramètres constituant les termes de l'équation modèle de simulation, puis l'élaboration de l'algorithme de calcul permettant de déterminer les performances des camions équipés de groupes motopropulseurs conditionnés. Cet algorithme détermine d'abord le rapport global de la transmission couplée à un moteur donné.

Dans le sixième chapitre, nous avons établi l'équation modèle de simulation dont les paramètres sont déterminés aux chapitres 4 et 5. Nous avons élaboré ensuite l'algorithme de calcul permettant le couplage des sous-systèmes utilisés par la S.N.V.I/C.V.I de Kouiba selon les différentes options afin de déterminer les performances des camions qui en seront équipés.

Le septième chapitre est consacré à un exposé succinct sur l'interprétation et l'exploitation des résultats obtenus dans cette étude.

## Chapitre 2: Etude du modèle : véhicule-route

### 2.1. Détermination de la caractéristique de marche

#### 2.1.1. Equations du mouvement d'un véhicule

La détermination de cette caractéristique résulte de l'étude de l'équilibre du véhicule en état de marche sur route ce qui permettra de faire le bilan des efforts agissants sur le véhicule pendant la marche. Ces efforts sont à vaincre pour que le véhicule puisse rouler dans les conditions prévues pour son exploitation. Ce bilan constitue le premier membre de l'équation modèle de simulation. Il servira ainsi de point de départ dans l'élaboration d'un modèle pour la sélection appropriée d'un système de propulsion devant animer un véhicule destiné à une exploitation donnée. Nous procédons à la détermination de ce bilan en faisant une analyse dynamique du modèle: véhicule-route, figure (2.1). Cette analyse mène à la déduction des relations exprimant ce bilan en terme de force, de couple ou de puissance.

Pour rendre l'analyse plus commode, on considère un véhicule reposant sur deux essieux. Le résultat sera applicable pour le cas de  $n$  essieux en introduisant les considérations appropriées. On commence cette analyse par décomposer le véhicule en trois parties principales :

- le corps, figure (2.1-b)
- l'essieu, figure (2.1-c)
- le pont, figure (2.1-d)

Selon le principe de d'Alembert, l'équilibre dynamique d'un corps de masse  $m$  en mouvement dans un repère plan  $xoy$  est donné par les équations :

$$m \cdot \ddot{x} - \sum_{i=1}^n (F_i)/x = 0$$

$$m \cdot \ddot{y} - \sum_{i=1}^n (F_i)/y = 0 \quad (2.1)$$

$$I \cdot \ddot{\phi} - \sum_{k=1}^m (M_k)/c = 0$$

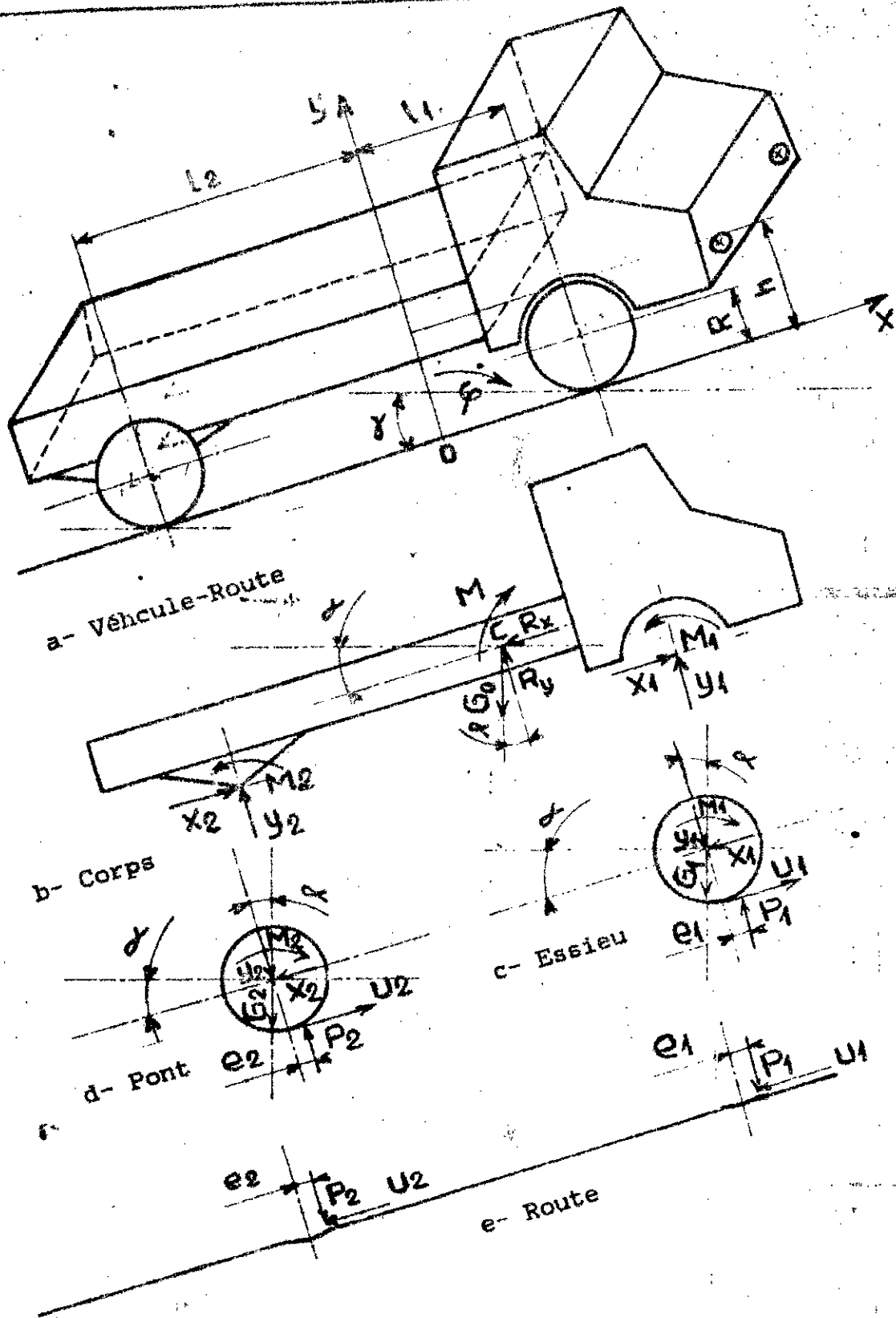


fig 2.1- Modèle : Véhicule-Route

Pour un véhicule en mouvement longitudinal sur route, les équations (2.1) donnent :

- Pour le corps du camion :

$$m_0 \ddot{x} + G_0 \sin \alpha + R_x - (X_1 + X_2) = 0 \quad (2.2)$$

$$G_0 \cos \alpha - (R_y + Y_1 + Y_2) = 0 \quad (2.3)$$

$$(M/c + I_2 \cdot y_2 - (M_1 + M_2 + (h-R) \cdot (X_1 + X_2) + l_1 \cdot Y_1) = 0 \quad (2.4)$$

- Pour l'essieu :

$$m_1 \ddot{x} + X_1 + G_1 \sin \alpha - U_1 = 0 \quad (2.5)$$

$$Y_1 + G_1 \cos \alpha - P_1 = 0 \quad (2.6)$$

$$I_1 \ddot{\varphi} + e_1 \cdot P_1 + R \cdot U_1 - M_1 = 0 \quad (2.7)$$

Pour le pont :

$$m_2 \ddot{x} + X_2 + G_2 \sin \alpha - U_2 = 0 \quad (2.8)$$

$$Y_2 + G_2 \cos \alpha - P_2 = 0 \quad (2.9)$$

$$I_2 \ddot{\varphi} + e_2 \cdot P_2 + R \cdot U_2 - M_2 = 0 \quad (2.10)$$

En additionnant les équations (2.2), (2.5) et (2.8) on obtiendra :

$$G \cdot \left( \frac{\ddot{x}}{g} + \sin \alpha \right) + R_x = \sum_{i=1}^2 U_i \quad (2.11)$$

En additionnant les équations (2.7) et (2.10) on obtiendra :

$$\ddot{\varphi} \cdot \left( \sum_{k=1}^2 I_k \right) + \sum_{i=1}^2 e_i \cdot P_i + R \cdot \left( \sum_{i=1}^2 U_i \right) = \sum_{k=1}^2 M_k \quad (2.12)$$

Le groupement de termes  $\sum_{c=1}^2 e_i \cdot P_i$  est équivalent au moment d'une force  $R_r$  appliquée à la périphérie de la roue par rapport à son axe de rotation. On écrit donc :

$$\sum_{c=1}^2 e_i \cdot P_i = R \cdot R_r \quad (2.13)$$

La force  $R_r$  représente la force globale de résistance de roulement. Tenant compte des relations (2.11) et (2.13) l'équation (2.12) deviendra alors :

$$M_1 + M_2 = R \cdot (G \cdot (\ddot{x}/g) + \sin \alpha) + R_x + R_r + (I_1 + I_2) \ddot{\varphi} \quad (2.14)$$

avec  $\ddot{\varphi} = \ddot{x}/R$

à partir de l'équation (2.14), on obtiendra :

$$\ddot{x} \cdot ((G/g) + (I_1 + I_2)/R^2) + G \cdot \sin \alpha + R_x + R_r = (M_1 + M_2)/R \quad (2.15)$$

L'équation (2.15) conditionne l'équilibre dynamique du véhicule dans son mouvement longitudinal. Le premier membre de cette équation correspond au bilan des efforts résistants (caractéristique de marche), le second correspond à l'effort de propulsion (caractéristique de propulsion).

### 2.1.2. Composantes de la caractéristique de marche

Cette caractéristique est la résultante de plusieurs forces dues à plusieurs phénomènes :

1) Le phénomène de roulement des roues qui donne naissance à plusieurs forces dont la résultante représente la résistance globale de roulement des roues. La plus importante de ces forces est la résistance due au frottement de roulement exprimée par la relation :

$$R_{r_t} = f_t \cdot \sum_{c=1}^2 P_i \quad (2.16)$$

où :  $P_i$  représente la somme des charges verticales agissantes sur les roues

$f_t$ , le coefficient du frottement

La somme des charges verticales est égale à la somme algébrique de :

- La composante perpendiculaire à la route du poids total roulant
- La portance aérodynamique  $R_y$

Nous écrivons donc :

$$Rr_t = f_t \cdot ( G \cdot \cos \alpha - R_y ) \quad (2.17)$$

En second lieu vient la résistance par amortissement due à la rugosité de la route .

En troisième lieu, vient la résistance du pincement, figure (2.2), qui résulte de l'action des forces latérales dues au pincement . Celle-ci est donnée par la relation :

$$Rrs = 2 \cdot P_s \cdot \sin \beta \quad (2.18)$$

La résistance de marche de la roue peut être exprimée par une relation analogue à la relation (2.17) en écrivant :

$$Rr = f \cdot ( G \cdot \cos \alpha - R_y ) \quad (2.19)$$

où  $f$  représente le coefficient global de résistance de roulement des pneus qui dépend de l'état de la route et de la vitesse de marche pour un type de pneu donné , à une pression de gonflage donnée .

La portance aérodynamique  $R_y$  est sans influence , comparée au terme  $G \cdot \cos \alpha$  . Nous pouvons donc écrire :

$$Rr = f \cdot G \cdot \cos \alpha = G \cdot \frac{f}{\sqrt{1 + P^2}} \quad (2.20)$$

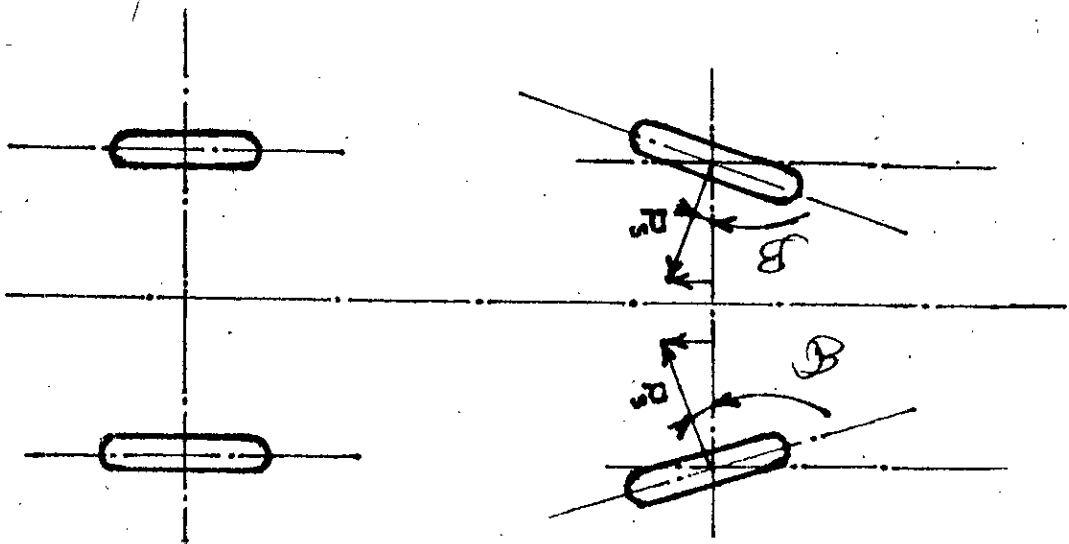


fig 2.2- Effet du pincement

2) La résistance de l'air est donnée par la relation :

$$R_x = \frac{\rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2}{2} \quad (2.21)$$

3) La résistance due à la pente est donnée par la relation :

$$R_p = G \cdot \sin \alpha$$

La pente  $p$  de la route sur laquelle on fait marcher le véhicule est égale à la tangente de l'angle  $\alpha$ , figure (2.1). Nous écrivons donc :

$$R_p = G \cdot \frac{p}{\sqrt{1 + p^2}} \quad (2.22)$$

4) Résistance de l'inertie

Ce dernier type de résistance intervient pendant des étapes de transition lorsque les conditions de marche imposent une variation de la vitesse. Dans sa forme la plus simple, cette force est donnée par la relation :

$$R_i = \ddot{x} \cdot (G/g + (I_1 + I_2)/R^2) \quad (2.23)$$

où :

$G/g$  désigne la masse totale roulante .

$(I_1 + I_2)/R^2$  désigne la masse des roues fixées sur l'essieu et les ponts portant le véhicule .

Les éléments tournants du système de propulsion offrent à leur tour une résistance d'inertie qui vient s'ajouter à celle des roues . Cette résistance sera réduite aux roues selon le principe de conservation d'énergie . Les éléments tournants se trouvent au niveau de :

- 1) Moteur (volant) .
- 2) Boite de vitesses ( train d'engrenage en prise ) .
- 3) Boite de transfert .
- 4) Pont .



### 5) Roues .

Chacun de ces éléments possède un moment d'inertie, une vitesse angulaire et un rapport de transmission :

$$(I_v, \dot{\varphi}_v), (I_b, \dot{\varphi}_b, i_b), (I_t, \dot{\varphi}_t, i_t), (I_p, \dot{\varphi}_p, i_p), (I_k, \dot{\varphi}_k, i_k)$$

où v, b, t, p et k désignent respectivement le volant, la boîte de vitesses, la boîte de transfert, le pont et les roues, figure (1.1) .

Donc, pendant la variation de la vitesse, les éléments tournants (roues comprises) offrent une résistance donnée par la relation :

$$R_{ir} = (1/R) \cdot \left( \sum_{k=1}^n I_k \cdot \ddot{\varphi}_k + \sum_{q=1}^m (I_p \cdot \ddot{\varphi}_p + I_t \cdot \ddot{\varphi}_t + I_b \cdot \ddot{\varphi}_b + I_v \cdot \ddot{\varphi}_v) i_q \right) \quad (2.24)$$

où n et m sont respectivement le nombre total d'essieux portant le véhicule et celui de ponts. Avec  $\ddot{x} = \ddot{x}/R$  et en vertu du principe de conservation d'énergie, la force d'inertie des éléments tournants réduite aux roues sera donnée par la relation:

$$R_{ir} = (\ddot{x}/R^2) \cdot \left( \sum_{k=1}^n I_k + \sum_{q=1}^m (i_k^2 \cdot I_p + i_k^2 i_b^2 I_t + i_k^2 i_p^2 i_t^2 I_b + i_k^2 i_p^2 i_t^2 i_b^2 I_v) \right) \quad (2.25)$$

On convient souvent d'exprimer la résistance globale d'inertie par une relation de la forme :

$$R_i = \lambda \cdot G \cdot (\ddot{x}/g) \quad (2.26)$$

où  $\lambda$  est un coefficient qui considère l'inertie des éléments tournants comme étant une partie de l'inertie de translation .

En remplaçant les termes du premier membre de la relation (2.17) par leurs équivalents exprimés par les relations (2.20), (2.21), (2.22) et (2.26), on obtiendra :

$$F(V) = G \cdot \left( \lambda \cdot \ddot{x}/g + \frac{p+f}{\sqrt{1+p^2}} \right) + \frac{\rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2}{2} \quad (2.27)$$

$$M(V) = R \cdot \left( G \left( \lambda \cdot \ddot{x}/g + \frac{p+f}{\sqrt{1+p^2}} \right) + \frac{\rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2}{2} \right) \quad (2.28)$$

$$P(V) = G.(\lambda \cdot \ddot{x}/g + \frac{p + f}{\sqrt{1 + p^2}}) \cdot V + \frac{\rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^3}{2} \quad (2.29)$$

Les relations (2.27) , (2.28) et (2.29) expriment la caractéristique de marche respectivement en termes de force , de couple ou de puissance , figure (2.3) .

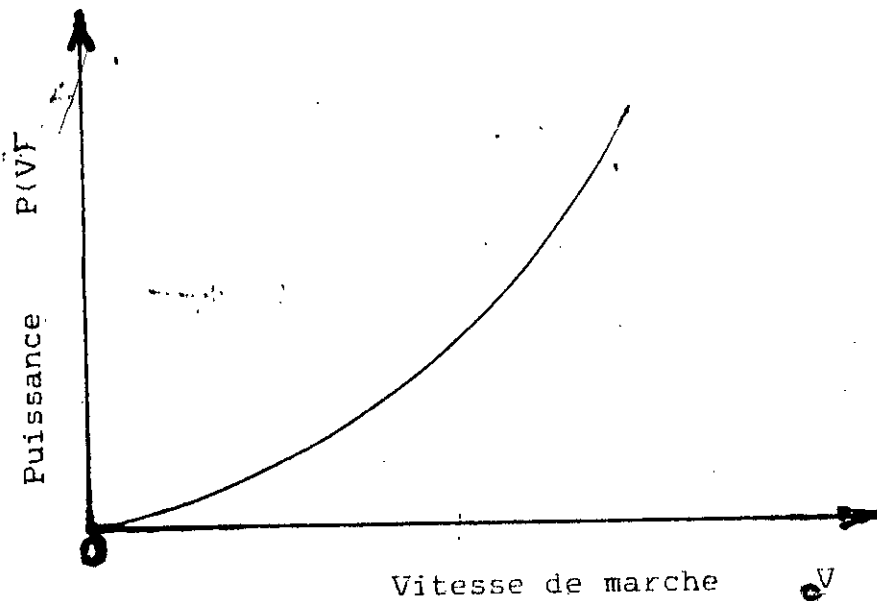


fig 2.3- Caractéristique de marche sous forme de puissance

### 2.2.1. Caractéristiques d'un moteur

L'analyse dynamique du véhicule sur route nous a permis d'établir le bilan des efforts résistants s'opposant à son mouvement ( relations 2.27 , 2.28 , 2.29 ) . Dans ce paragraphe , nous allons étudier les caractéristiques de la source devant fournir l'énergie nécessaire pour surmonter les efforts résistants . Ces caractéristiques sont fonction de la vitesse de rotation du moteur . L'aire sous la courbe de la figure (2.3) exprime la puissance minimale à fournir pour que le véhicule puisse marcher à une vitesse donnée . Il faut donc que la caractéristique de propulsion correspondante délimite une aire au minimum égale à celle délimitée par la caractéristique de marche à cette vitesse .

La courbe donnant la puissance fournie en fonction de la vitesse de rotation  $N$  Tr/min présente un point caractéristique celui de la puissance maximale obtenue pour une vitesse de rotation déterminée .

Selon leur type , les moteurs présentent des caractéristiques à allures diverses . On s'intéresse ici uniquement aux moteurs à combustion interne qui sont presque les seuls utilisés dans la construction de véhicules . Les caractéristiques de tels moteurs sont représentées par la figure (2.4) .

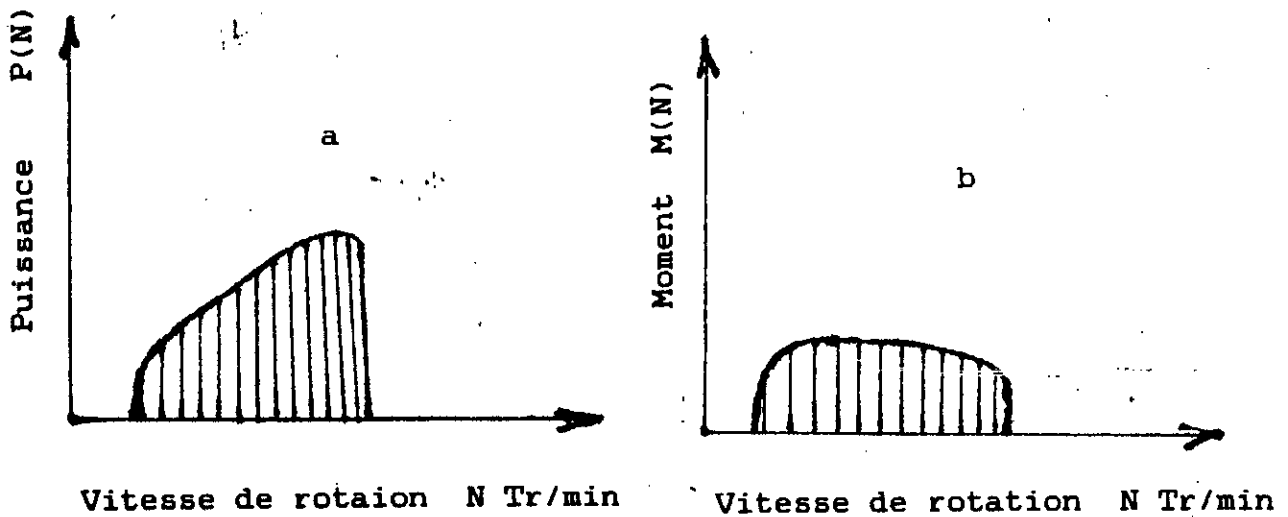


fig 2.4- Caractéristique de propulsion d'un moteur à combustion interne

- a - sous forme de puissance
- b - sous forme de couple

### 2.2.2. Transformation des caractéristiques de propulsion

La caractéristique de propulsion telle qu'elle est représentée sur la figure (2.4) ne permet pas d'assurer la propulsion du véhicule dans toutes les conditions de marche. Pour remédier à cet inconvénient , cette caractéristique doit être adaptée par une série de transformations appropriées . La figure (2.5) présente une schématisation de ces transformations . Les

grandeurs transformées sont le couple, la puissance et la vitesse de rotation en vue de leur adaptation pour satisfaire la caractéristique de marche. La boîte de vitesse permet d'avoir un nombre de caractéristiques égal au nombre de rapports de cette boîte comme le montre la figure (2.6 a et b), ou on remarque que

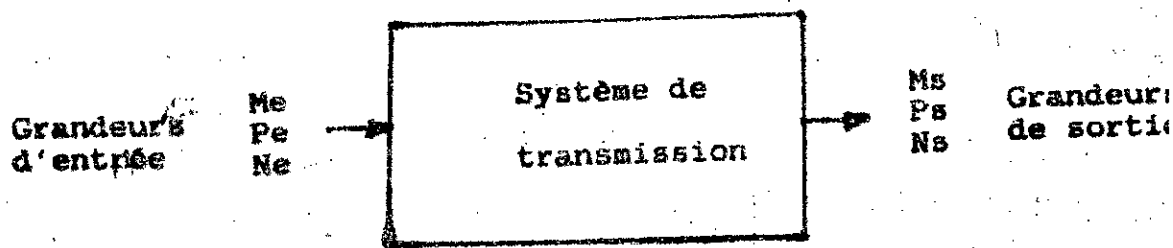


fig 2.5- Schéma de transformation des caractéristiques de propulsion d'un moteur à combustion interne

l'aire offerte par le moteur seul ne correspond pas à l'aire de besoins. Mais après avoir appliqué une boîte de vitesses, on a obtenu plusieurs aires d'offre pouvant satisfaire plusieurs variantes de la caractéristique de marche.

### 2.3. Diagramme de fonctionnement

Dans les deux paragraphes précédents on a analysé les questions liées aux résistances de marche et aux caractéristiques de propulsion. Dans ce paragraphe on va relater ces deux aspects pour déterminer la vitesse de marche du véhicule, son aptitude à surmonter les côtes, son aptitude à accélérer sa vitesse, la consommation du carburant etc ...

La superposition de la caractéristique de marche pour différentes conditions d'exploitation avec la caractéristique de propulsion constituent le diagramme de fonctionnement en termes de force, de couple ou de puissance. Dans le cas de la marche à vitesses constantes l'effort résistant s'exprime par les relations :

$$F(V) = C \cdot \left( \frac{p+f}{\sqrt{1+p^2}} \right) + \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot V^2}{2} \quad (2.30)$$

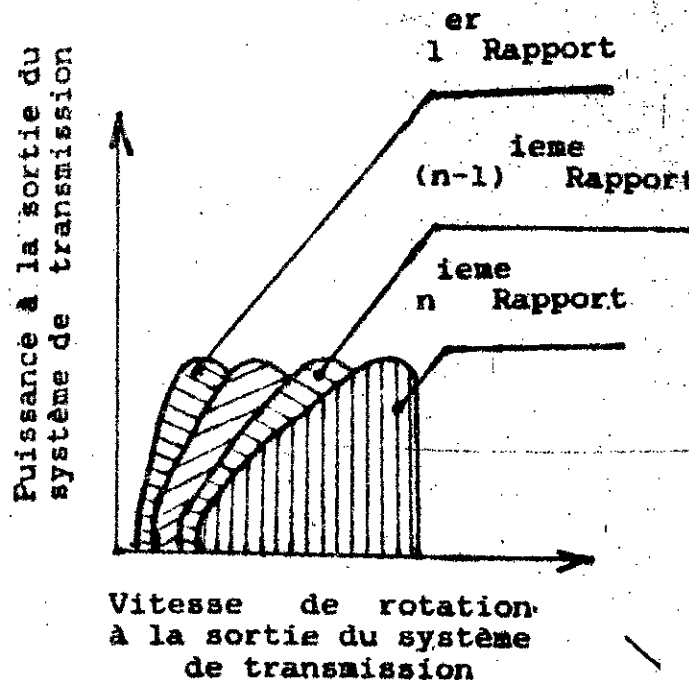
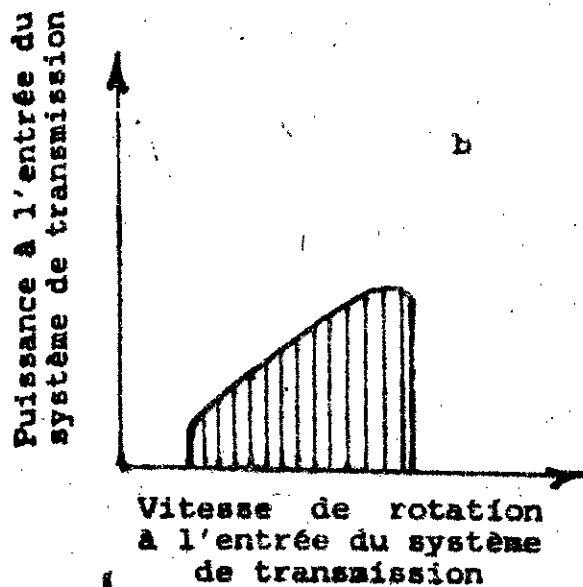
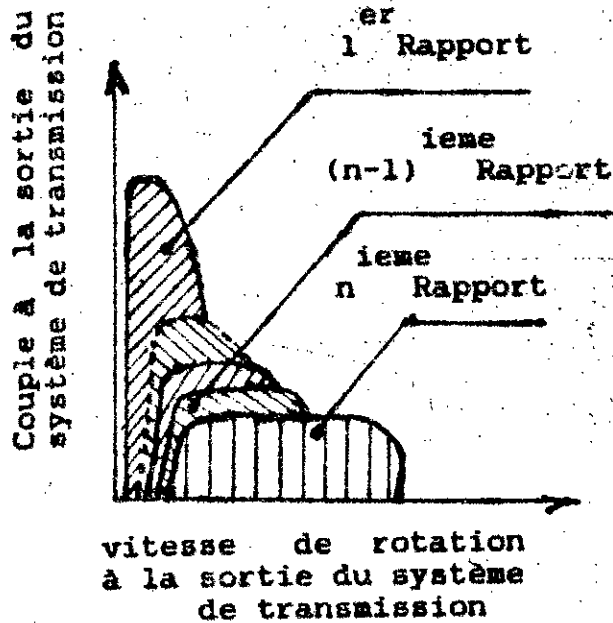
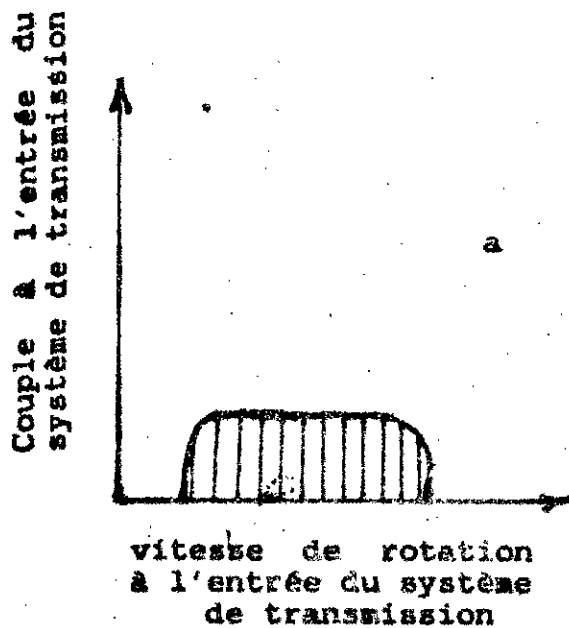


fig 2.6- adaptation des caractéristiques de propulsion d'un moteur à combustion interne

- a - sous forme de couple
- b - sous forme de puissance

$$P(V) = G \cdot \left( \frac{p+f}{\sqrt{1+p^2}} \right) V + \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot V^3}{2} \quad (2.31)$$

A partir de ces deux relations on établira le diagramme de fonctionnement en termes de force et de puissance, figure (2.7 a, b)

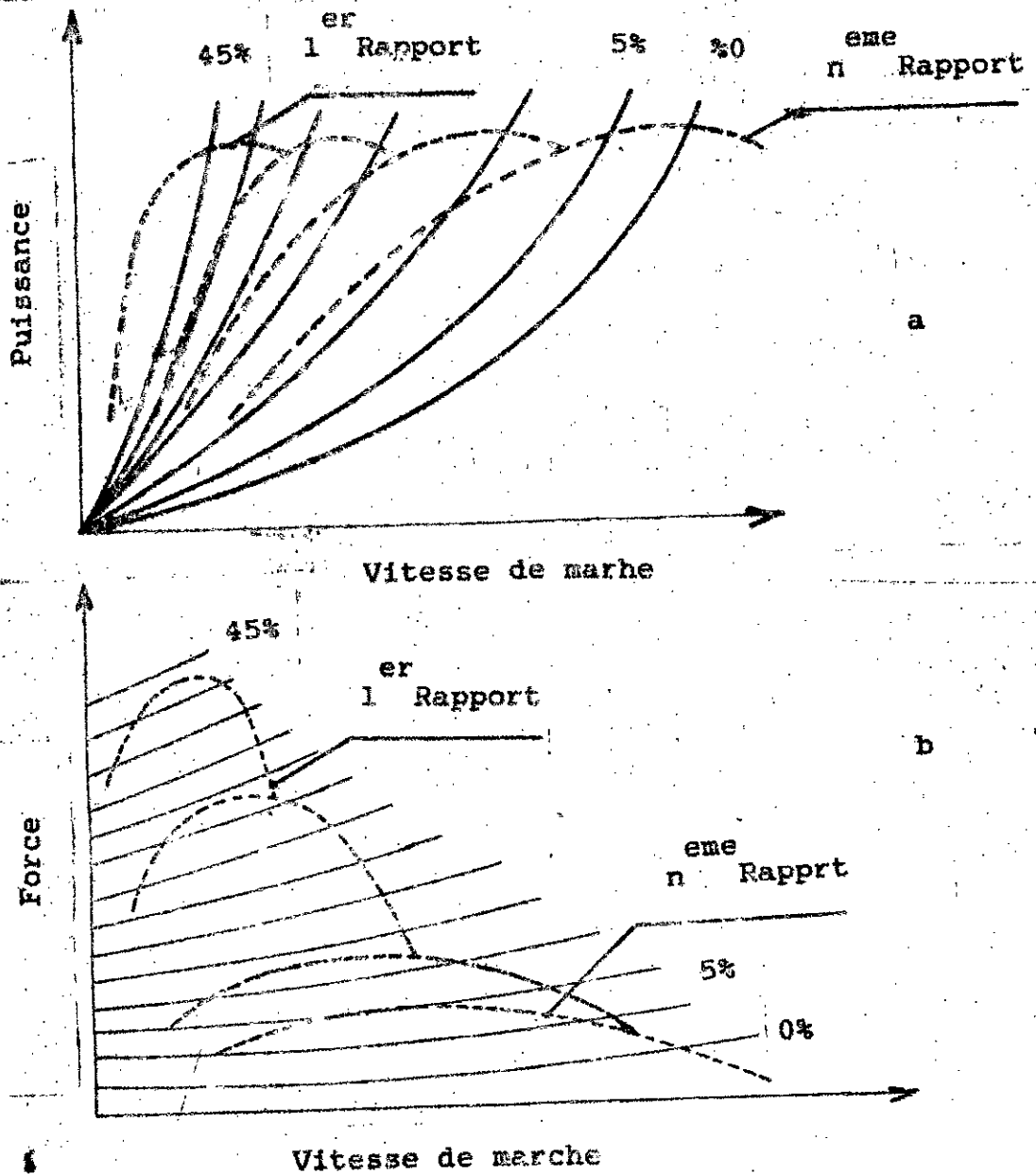


fig 2.7- Diagramme de fonctionnement d'un système de propulsion

- a- sous forme de puissance
- b- sous forme de force

----- caractéristique de propulsion  
 \_\_\_\_\_ caractéristique de marche  
 % pourcentage des pentes

## 2.4. Performances d'un véhicule

### 2.4.1. Vitesse moyenne de marche

La vitesse maximale de marche dans des conditions données est déterminée par l'intersection de la caractéristique de marche avec la caractéristique de propulsion, figure (2.8).

D'habitude le  $n$  ième rapport correspond à la prise directe. Cependant, dans certaines conditions d'exploitation on juge utile

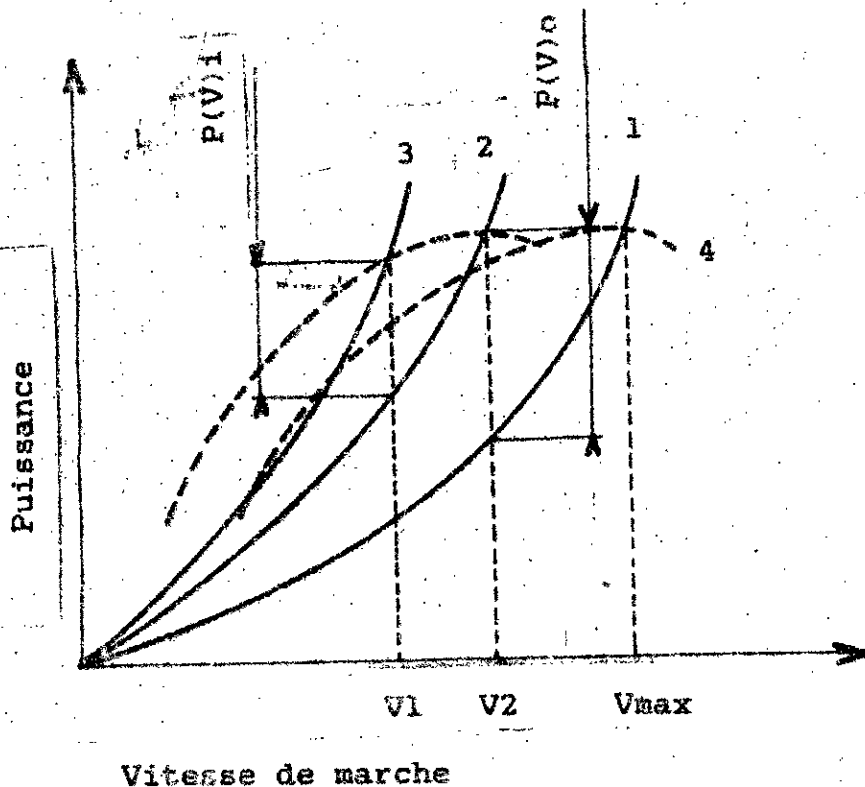


fig 2.8- Surplus de puissance  $P(V)$

- 1- Puissance de marche sur une pente nulle
- 2- puissance de marche sur une pente  $p(i) > 0$
- 3- puissance de marche sur une pente  $p(i+1) > p(i)$
- 4- puissance de propulsion

de doter la boîte de vitesse par une combinaison dite " surmultipliée " /2/. Cette combinaison transforme la caractéristique de propulsion de manière à déplacer son maximum vers la droite par rapport à la prise directe, figure(2.9). Ce qui permet au véhicule d'aller à une vitesse plus grande à un

régime moteur plus bas. Cette combinaison est particulièrement utile en palier, et en petites déclinités. Elle présente un avantage à trois composantes :

- Gain de temps
- Gain de carburant.
- Taux d'usure moindre des organes mobiles du moteur.

On l'appelle "vitesse économique". La plupart des boîtes de vitesses disponibles au stock du C.V.I de Rouiba qui font l'objet de cette étude sont dotées d'une combinaison surmultipliée. Le plus important est de déterminer la vitesse moyenne de marche  $V_m$  km/h

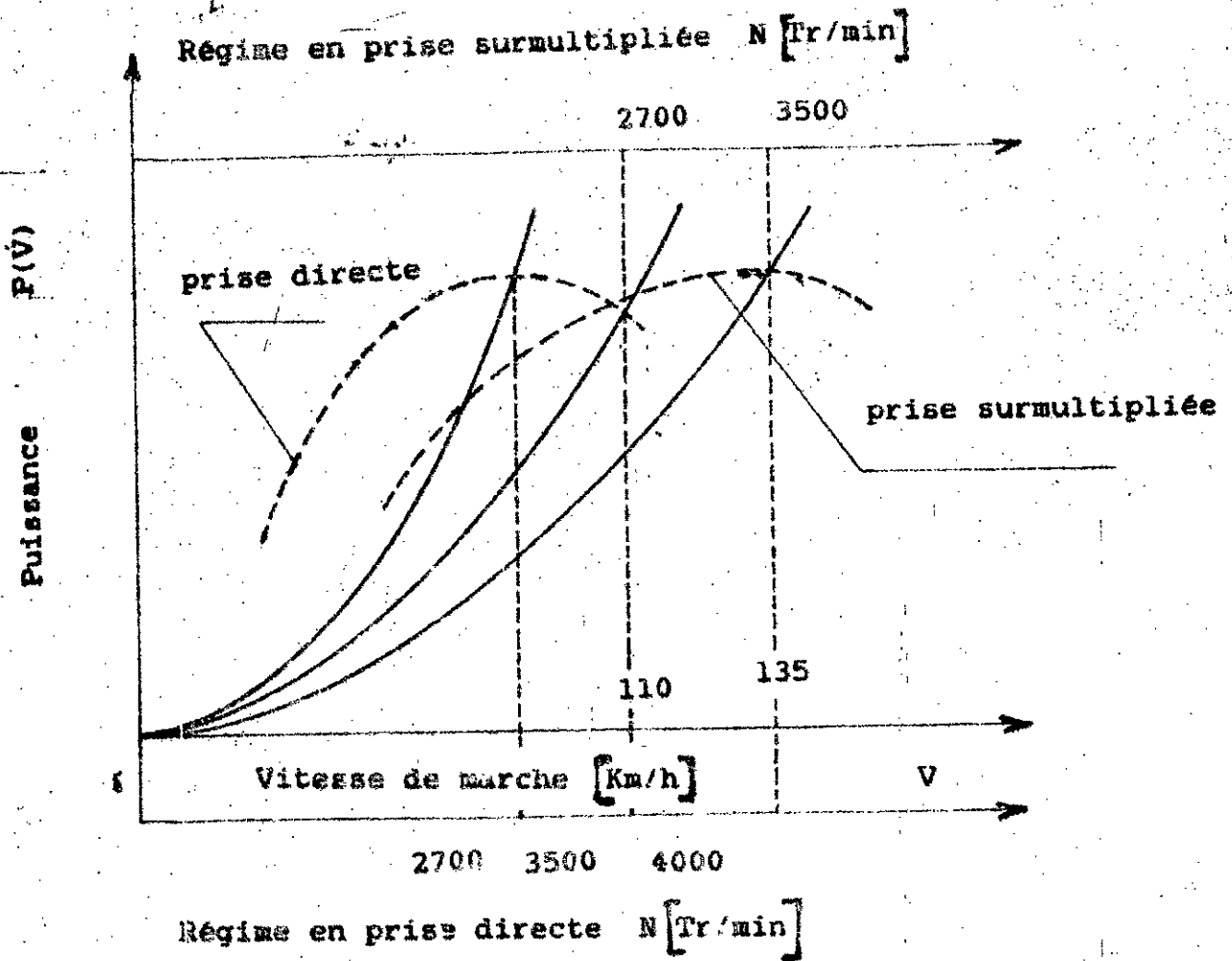


fig 2.9- Combinaison surmultipliée \_ prise directe



le long d'un trajet (L) comportant l'ensemble des conditions d'exploitation du véhicule. Pour ce faire, on évalue le temps (t) nécessaire pour parcourir ce trajet, et on écrira :

$$V_m = L/t \quad (2.37)$$

#### 2.4.2. Aptitudes à monter les côtes .

La figure (2.8) montre que lorsque la vitesse de marche est inférieure à la vitesse maximale dans des conditions données on disposera alors d'un certain surplus de puissance de propulsion . ce surplus se mesure par la différence entre la force motrice disponible et la résistance de marche à la vitesse considérée sur une route de pente supérieure :

$$G. \left( \frac{P(I+1) + f}{\sqrt{1+P(I+1)^2}} - \frac{P(I) + f}{\sqrt{1+P(I)^2}} \right) = \frac{\Delta P(V)}{V} \quad (2.33)$$

Ce surplus peut être utilisé pour surmonter cette côte selon la relation (2.33) . Lorsque la vitesse de marche augmente , la pente diminue . En d'autres termes , pour surmonter les côtes de plus en plus grandes , on doit de plus en plus diminuer la vitesse de marche .

#### 2.4.3. Réserve d'accélération .

Bien que le véhicule routier lourd marche en général à vitesse constante , il y a des circonstances où intervient le phénomène d'accélération telles que les périodes de démarrage , de la mise en vitesse et lors d'un dépassement . En effet , à partir de la vitesse  $V_1$  on dispose d'un excès de puissance de propulsion  $\Delta P(V)$  , figure (2.8) pouvant être utilisé pour ramener la vitesse de marche de  $V_1$  à  $V_2$  sur une pente  $P(I)$  ou bien pour surmonter une côte de pente supérieure  $P(I+1)$  . Cette réserve d'accélération est évaluée par la relation :

$$\ddot{x} = \frac{g}{\lambda} \left( \frac{P(I+1) + f}{\sqrt{1 + P(I+1)^2}} - \frac{P(I) + f}{\sqrt{1 + P(I)^2}} \right) \quad (2.34)$$

Cette grandeur exprime l'aptitude du véhicule à accélérer son allure à partir d'une vitesse donnée  $V_1$  à une autre vitesse  $V_2$  . L'importance de cette performance apparaît plus particulièrement lors des dépassements dont l'utilité consiste à se rapprocher des conditions optimales de fonctionnement sans perdre de temps .

### 2.4.2. Consommation du carburant

Pour que le véhicule puisse parcourir un certain trajet L il faut lui fournir une certaine quantité de travail, évaluée par la relation :

$$W = \int_0^L F \cdot dl \quad (2.34)$$

Ce travail de l'énergie du carburant qui est déterminée par le produit de la quantité consommée B litres par le pouvoir calorifique Pc joules/litre, par le rendement du cycle moteur et par le rendement mécanique de la transmission. On aura donc :

$$W = \eta_c \cdot \eta_m \cdot B \cdot Pc \quad (2.35)$$

Dans le cas où F est constante, la relation (2.34) permet de déterminer la consommation du carburant [litres/100 K m] :

$$C = \frac{1}{\eta_c \eta_m Pc \cdot 10^{-5}} \left( G \left( \frac{p + f}{\sqrt{1 + p^2}} \right) + \frac{\rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2}{2} \right) \quad (2.36)$$

Cette relation exprime la performance d'un véhicule en terme de consommation de carburant.

2.4.5. Couple : Cette grandeur est déterminée par la relation :

$$CL = (P(V) \cdot R) / V \quad (2.37)$$

Pour faire sortir les performances dont on vient de déduire les formules, il faudra concevoir un système informatique approprié qui simule la marche de véhicule sur route. L'étude du modèle véhicule-route nous a permis de définir les grandeurs de base qui entrent dans la procédure globale de simulation procédure qui fera l'objet de la suite de cette étude.

## Chapitre 3: Conception d'une méthode globale de simulation: M.G.S

### 3.1. Principales phases de la M.G.S

La grande diversité de choix des sous-systèmes qui composent le système de propulsion affecté à un véhicule rend le volume de travail consacré au calcul irréalisable sans assistance de l'ordinateur. Mais cette solution exige la conception d'une M.G.S appropriée, dont le logiciel associé effectuera ce travail et fera sortir les performances des différentes variantes de véhicules. Celles-ci résultent des combinaisons de divers sous-systèmes permettant ainsi de mettre à la disposition du constructeur de camions, les informations nécessaires à la prise de décisions bien fondées.

Chaque phase de cette méthode fera l'objet d'un chapitre particulier dans lequel sera établi un programme informatique qui traite un aspect déterminé du système global de calcul. Dans le contexte de simulation, un système peut être considéré comme un ensemble de relations entre des causes (variables d'entrée) et des conséquences (variables de sortie), figure (3.1) //13//16/. Etudier un tel système revient à prévoir l'évolution des sorties (conséquences), en réponse à l'évolution des entrées (causes). L'étude portera en premier lieu sur un modèle qui simulera le comportement du système à étudier, permettant ainsi de tester ce système avant même qu'il n'existe //13//16/. Le système envisagé dans cette thèse est un véhicule de transport routier lourd.

L'étape de conception traitée ici utilise le concept de la simulation en tant que moyen préliminaire d'expérimentation qui permet de couvrir une gamme assez large de variantes. Pour cette raison et en tant que moyen permettant d'obtenir des informations assez fiables sur le fonctionnement du système; la simulation occupe une place intermédiaire entre l'analyse

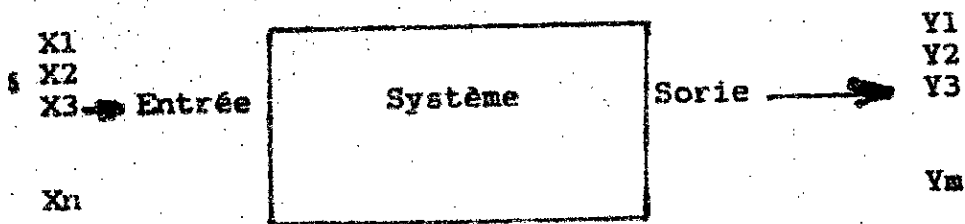


fig 3.1- Modèle de représentation d'un système

mathématique et les essais expérimentaux. L'étude que nous menons concerne la simulation de la marche d'un véhicule sur route ; aspect dont dépendent les performances de celui-ci .

Mais avant de faire appel à l'ordinateur , il faut procéder à un travail d'analyse . Ce travail consiste à formuler mathématiquement le problème et le mettre ensuite sous une forme commode à traiter par ordinateur . Ce travail se résume dans les étapes suivantes :

- Identifier les relations impliquées dans la définition du problème de façon à simuler le comportement du système à étudier .
- Déterminer la méthode numérique convenable et élaborer l'algorithme de résolution du problème .
- Faire un schéma synoptique indiquant l'enchaînement des différentes phases du travail arithmétique à effectuer conformément à la méthode numérique choisie ; c'est l'oganigramme.
- Traduire l'oganigramme en une suite d'instructions détaillées dans un langage recevable par l'ordinateur ; c'est la programmation .

Les phases principales de notre M.G.S sont données dans l'enchaînement indiqué par la figure (3.2) .

### 3.2. Schéma général de la M.G.S

Ce schéma indique les principales phases de la M.G.S . A chaque étape sera associé un programme informatique constituant un bloc du logiciel global de cette méthode , figure (3.2) .

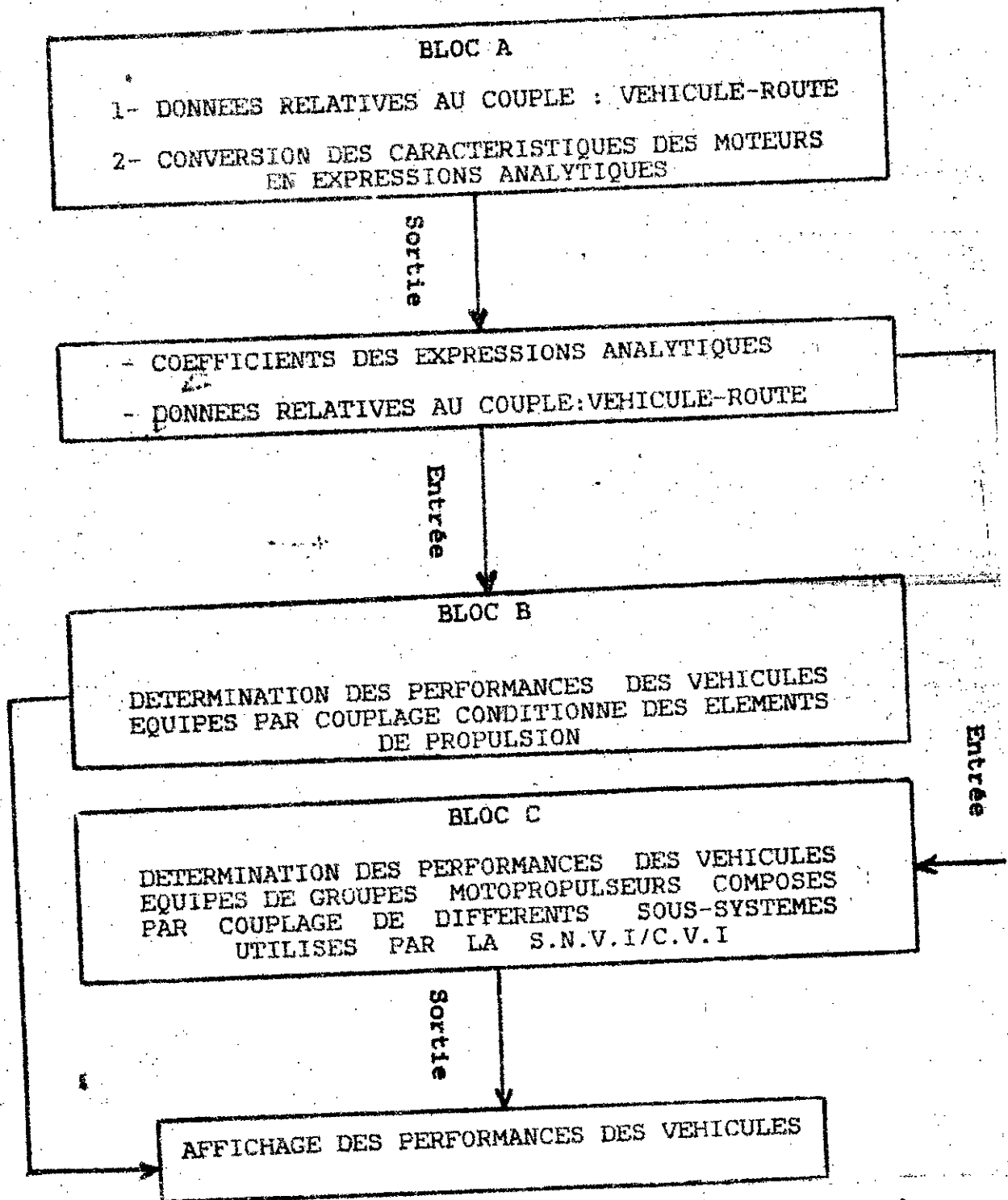


fig 3.2 : SCHEMA BLOCS DE LA M.G.S

Le bloc A transmet aux blocs B et C les informations nécessaires pour le travail de calcul qui y sera effectué selon des algorithmes appropriés. Les informations issues de ce calcul sur les performances des véhicules feront l'objet d'une analyse et comparaison de la part du constructeur concerné pour décider des variantes retenues.

### 3.3. Organisation de la M.G.S

Cette organisation englobe l'assistance d'ordinateur au niveau des blocs A, B et C, figure (3.2) les équations qui s'y trouvent sont tirées du chapitre 2 et des chapitres 4, 5 et 6 qui vont suivre et qui traitent les aspects relatifs aux blocs ci-dessus. Le logiciel associé (annexe I) constitue la représentation pratique détaillée de la figure (3.2) qui résume en ses grandes lignes toute la procédure de simulation. Il synthétise ainsi, toute la partie informatique de cette thèse.

En ce qui concerne la possibilité de combiner les éléments de la chaîne cinématique, formant le système de propulsion d'un type donné de véhicule, la capacité de cette méthode de simulation est très large. Ce qui permettra de tirer les combinaisons qui répondent le mieux à la demande de l'utilisateur de ce véhicule. Afin d'illustrer cette idée, on se propose d'utiliser la forme arborescente, figure (3.3), en considérant un ensemble de :

- N1 Moteurs .
- N2 boîtes de vitesses .
- N3 boîtes de transfert .
- N4 ponts .

La sélection des variantes à retenir se fait à charge transportée égale, à partir d'un compromis regroupant l'ensemble des performances routières affectées des coefficients de pondération, selon leur importance relative pour l'utilisateur, qui cherche un véhicule apte à fonctionner dans les conditions d'exploitation à laquelle il est destiné.

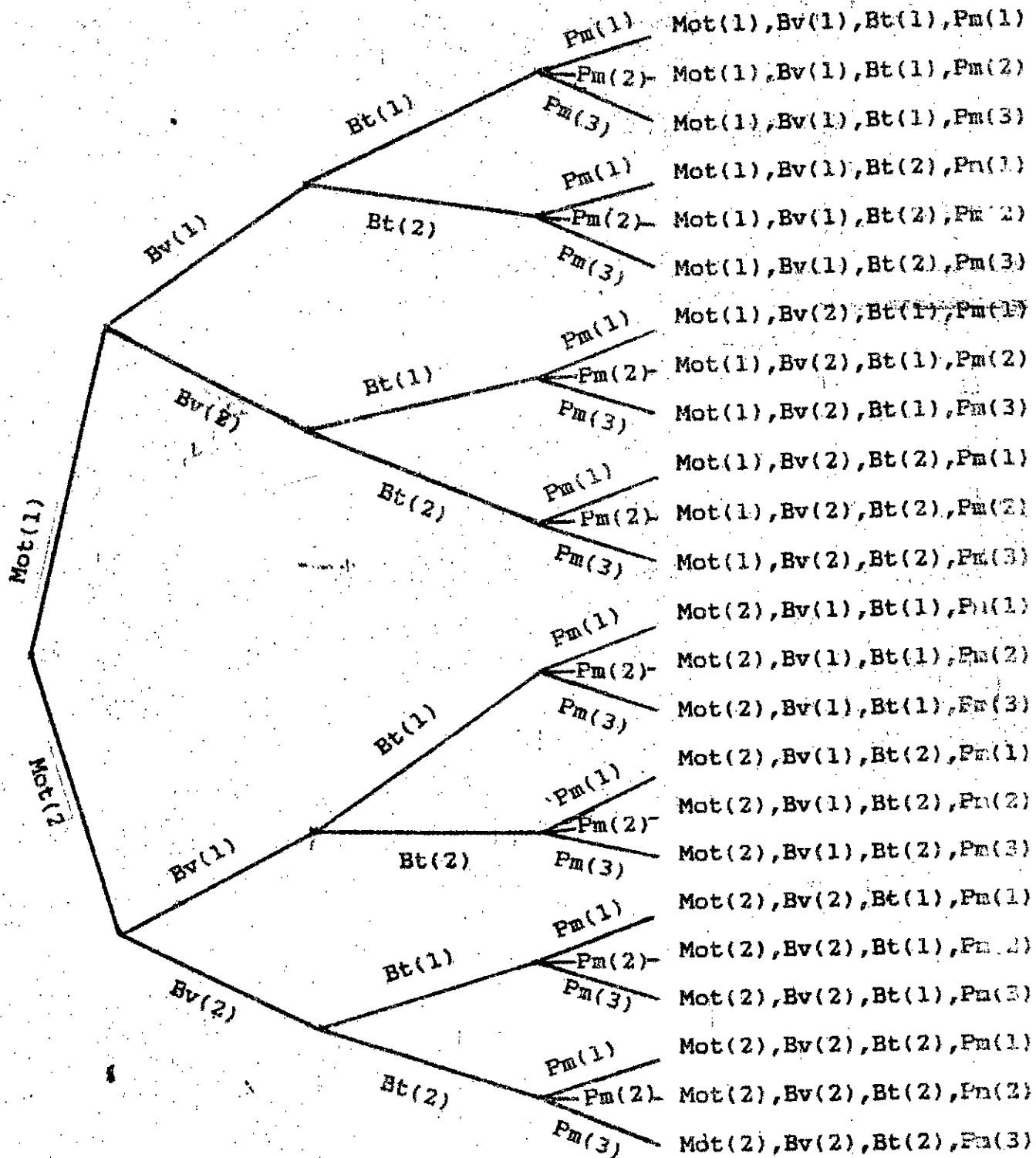


fig 3.3- Diagramme arborescent des combinaisons des éléments d'un système de propulsion: N1=2, N2=2, N3=2, N4=3

choisir entre les deux variantes résultant des combinaisons suivantes:

- Mot(1), Bv(9), Pm(4)

- Mot(1), Bn(9), Pm(5)

Le choix se fait en analysant les performances de ces deux variantes, tableau (3.1), telles qu'elles sont définies au chapitre 6.

Tableau (3.1): Performances de deux variantes d'un véhicule

Eléments couplés	Performances du véhicule correspondant								
	Vm	Vp	Pe	Rma	CL	Ch	Cm	Ve	Tmv
	[Km/h]	[Km/h]	[%]	[m/s]	[N.m]	[Tonne]	[Litres/100Km]	[Km/h]	[s]
MOT(1) BV(9) PM(4)	42,76	102,84	33	0,2243	57572	35	33,26	5,26	120,
MOT(1) BV(9) PM(5)	39,40	96,70	39	0,2383	66443	35	34,80	4,75	107,

Si on s'intéresse plus à la consommation de carburant  $C_m$ , à la vitesse moyenne  $V_m$ , à la vitesse maximale sur palier  $V_p$  et au temps de mise en vitesse, on retiendra la première variante. Si par contre, on s'intéresse davantage à la pente maximale  $P_e$ , au couple maximal  $CL$  et à la réserve moyenne d'accélération  $R_{ma}$ , on optera pour la deuxième variante.



## Chapitre 4: Ajustement des caractéristiques des moteurs par des expressions analytiques

### 4.1. Méthode d'approche

Pour déterminer les caractéristiques d'un moteur, on procède à des essais dont les résultats sont représentés sous une forme graphique. Cette forme de représentation n'est pas adaptée au traitement informatique par ordinateur; ce qui rend nécessaire d'exprimer ces caractéristiques sous forme analytique en adoptant une formule d'approche inspirée de l'allure du graphe expérimental. Dans sa forme générale, cette formule s'écrit comme suit :

$$Y = f(N, C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m) \quad (4.1)$$

où :

N : vitesse de rotation du moteur .

C<sub>i</sub> : coefficients de l'expression analytique correspondante .

Y : caractéristique du moteur ( consommation spécifique C<sub>s</sub>, couple M<sub>o</sub>, ou puissance P<sub>u</sub> ) .

Cela revient à déterminer les coefficients C<sub>i</sub> de sorte que la fonction qui en résulte décrive de la meilleure manière le phénomène expérimental considéré. Nous utiliserons la méthode des moindres carrés [12] en raison de la commodité au traitement informatique qu'elle présente. Il s'agit de rendre minimale la somme des carrés :

$$\chi(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m) = \sum_{k=1}^{M_1} (Y_k - f(N_k, C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m))^2 \quad (4.2)$$

où :

Y<sub>k</sub> : ordonnées des points situés sur les caractéristiques d'un moteur .

N<sub>k</sub> : abscisses correspondantes .

M<sub>1</sub> : nombre de points considérés .

Pour que la fonction  $\chi(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m)$  soit minimale pour un ensemble donné de valeurs C<sub>0i</sub> des variables C<sub>i</sub> il faudra que pour cet ensemble de valeurs :

(1) Le gradient de la fonction soit nul .

(2) Les dérivées secondes par rapport à chaque variable C<sub>i</sub> soient

positives, ainsi que les déterminants dont les éléments sont de la forme :

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial c_i \partial c_j}$$

pour toutes les valeurs de  $i$  et  $j$  variant avec un pas de 1 :  
de 1 à 2, de 1 à 3, ....., de 1 à  $n$ .

La première condition s'exprime par les relations :

$$\frac{\partial \eta}{\partial c_i} = 0 \quad (4.3)$$

pour toutes les valeurs de  $i$  variant de 1 à  $n$  avec un pas de 1.

La deuxième condition s'exprime par les relations :

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial c_i^2} > 0 \quad (4.4)$$

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_1^2} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_1 \partial c_2} \\ \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_2^2} \end{vmatrix} > 0 \quad (4.5)$$

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_1^2} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_1 \partial c_2} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_1 \partial c_3} \\ \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_2^2} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_2 \partial c_3} \\ \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_3 \partial c_1} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_3 \partial c_2} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial c_3^2} \end{vmatrix} > 0 \quad (4.6)$$

$$\begin{array}{cccc}
 \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_1^2} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_1 \partial C_2} & \dots & \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_1 \partial C_n} \\
 \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_2 \partial C_1} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_2 \partial C_n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_n \partial C_1} & \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_n \partial C_2} & \dots & \frac{\partial^2 \eta}{\partial C_n^2}
 \end{array} > 0 \quad (4.7)$$

Les conditions exprimées par les relations (4.3) conduisent au système d'équations :

$$\sum_{k=1}^{M_1} (Y_k - \varphi(N_k, C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m)) \frac{\partial \varphi}{\partial C_i}(N_k, C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m) = 0 \quad (4.8)$$

La résolution du système (4.8) donne l'ensemble des valeurs des variables  $C_i$  qui vérifient les conditions (4.3). Ces valeurs doivent vérifier aussi les conditions (4.4), (4.5), (4.6), (4.7) (critère de Sylvester) pour que l'extrémum de la fonction

$\eta(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n)$  soit un minimum.

#### 4.2. Formule d'approche

L'allure des graphes expérimentaux donnés par le constructeur nous oriente vers une formule de forme polynomiale :

$$\varphi(N, C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m) = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N^{(i-1)} \quad (4.9)$$

Le cas où  $m=3$  convient à l'allure des graphes expérimentaux du constructeur. Il vérifiera aussi le critère de Sylvester. Le système (4.8) donnera alors :

$$\begin{bmatrix} M_1 & M_1 & M_1 \\ \sum_{k=1}^2 N_k & \sum_{k=1}^2 N_k & \sum_{k=1}^2 N_k \\ \sum_{k=1}^2 N_k & \sum_{k=1}^3 N_k & \sum_{k=1}^4 N_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 \\ \sum_{k=1}^2 Y_k \\ \sum_{k=1}^2 Y_k \cdot N_k \\ \sum_{k=1}^2 Y_k \cdot N_k \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Le système (4.10) peut s'écrire sous la forme :

$$A \cdot C = D \quad (4.11)$$

dont la solution est donnée par la relation :

$$C = A^{-1} \cdot D \quad (4.12)$$

Le programme informatique associé à cette phase de l'étude calculera les éléments de la matrice A, son inverse, le vecteur D et le vecteur C dont les composantes représentent les coefficients de la fonction d'approche qui aura la forme :

$$f(N, C_1, C_2, C_3) = C_1 + C_2 \cdot N + C_3 \cdot N^2 \quad (4.13)$$

Le tableau (4.1) regroupe les mesures prises sur les courbes caractéristiques des moteurs utilisés par la S.N.V.I/C.V.I de Rouiba :

Tableau (4.1): Mesures prises sur les courbes caractéristiques des moteurs

Moteurs (J)	Grandeurs mesurées			
	N [Tr/min]	Cs [g/k.w.h]	Mo [N.m]	Pu [k.w]
1	1000	215,00	1122,50	118,00
	1100	209,50	1257,50	144,00
	1200	206,00	1265,00	159,75
	1300	204,00	1270,00	173,00
	1400	203,25	1252,50	184,00
	1500	205,00	1227,50	193,00
	1600	206,00	1197,50	201,25
	1700	209,25	1165,00	208,25
	1800	213,00	1140,00	214,00
	1900	218,00	1095,00	218,25
	2000	223,00	1057,50	221,25
	2100	230,00	1010,00	222,50
2200	237,00	0965,00	223,70	
2	1200	215,00	0794,00	100,00
	1300	215,00	0807,00	110,00
	1400	216,00	0814,00	119,00
	1500	216,50	0818,00	128,00
	1600	217,00	0816,00	136,00
	1700	217,50	0812,00	144,00
	1800	218,18	0806,00	151,00
	1900	219,00	0797,50	158,00
2000	220,00	0788,00	165,00	

2100	222,00	0777,50	171,00
2200	225,50	0765,00	176,00
2300	229,50	0750,00	181,00
2400	234,00	0737,00	185,00
2500	239,00	0727,00	188,00

3

1200	210,25	0692,50	087,00
1300	210,25	0719,00	097,50
1400	210,25	0731,00	107,00
1500	211,25	0735,00	115,75
1600	212,00	0732,00	122,00
1700	213,00	0724,00	128,00
1800	214,00	0712,00	134,00
1900	216,00	0703,00	139,25
2000	217,50	0693,00	145,00
2100	219,50	0684,00	150,00
2200	220,00	0675,00	155,00
2300	224,00	0665,00	160,00
2400	227,00	0655,00	164,00
2500	250,00	0645,00	169,00

4

1200	224,18	0620,00	069,92
1400	222,83	0661,60	065,30
1600	221,81	0671,98	111,14
1800	222,50	0669,55	125,12
2000	223,98	0662,15	137,26
2200	225,88	0650,40	148,30

	2400	231,66	0634,71	158,24
	2600	241,85	0615,09	176,07
	2650	245,72	0608,22	169,28
5	1200	211,00	0645,00	081,00
	1300	210,00	0670,00	091,75
	1400	209,75	0685,00	100,50
	1500	210,00	0690,00	108,00
	1600	211,25	0691,00	114,75
	1700	212,00	0680,00	121,00
	1800	214,00	0667,00	126,00
	1900	216,00	0655,00	131,00
	2000	218,00	0643,00	135,25
	2100	221,00	0631,00	139,75
	2200	224,00	0620,00	144,00
	2300	228,00	0610,00	147,50
	2400	231,00	0598,50	151,00
	2500	235,00	0577,50	154,00
	6	1200	226,90	0575,85
1400		224,18	0599,98	089,98
1600		223,17	0622,93	104,15
1800		222,83	0620,97	116,66
2000		223,51	0613,62	127,51
2200		225,88	0600,13	136,81

	2400	232,34	0583,70	145,36
	2600	241,17	0564,57	153,08
	2650	242,87	0579,17	154,56
7	1200	227,24	0575,85	072,13
	1400	224,18	0613,13	089,80
	1600	222,83	0621,95	104,51
	1800	222,44	0620,48	116,29
	2000	223,17	0613,62	127,33
	2200	225,88	0600,37	<del>136,16</del>
	2400	231,98	0583,12	145,00
	2500	236,75	0574,87	149,41

Ces mesures constituent le fichier de données pour la deuxième partie du bloc A de la M.G.S .



## Chapitre 5: système conditionné de propulsion

### 5.1. détermination des caractéristiques cinématiques de l'élément manquant

Cette phase de l'étude consiste à envisager le cas où la chaîne cinématique n'est pas complète, mais il lui manque un élément (boîte de vitesses, boîte de transfert ou pont). Il faudra alors déterminer le rapport global de transmission permettant la marche du véhicule selon le régime correspondant à la puissance nominale recommandée par le constructeur du moteur, dans différentes conditions d'exploitation, figure (5.1). un tel rapport est déterminé par la relation :

$$Qg(i) = N(J) / Nr = (N(J) \cdot 3,14 \cdot R) / (30 \cdot V) \quad (5.1)$$

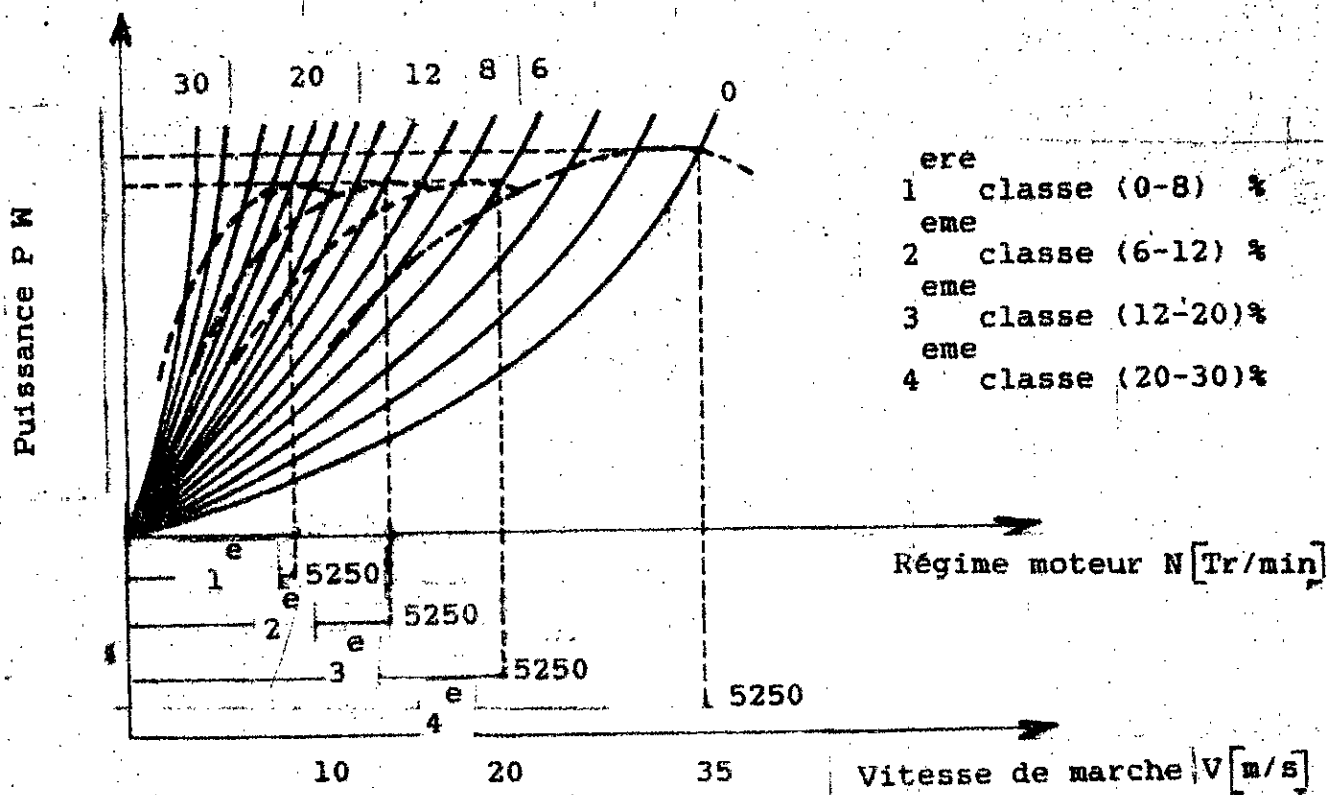


fig 5.1- Classes de conditions de marche coresspondant à une boîte de vitesses à quatre rapports

Dans le cas le plus général, ce rapport est le produit de trois rapports ( rapport de boîte de vitesses, rapport de boîte de transfert et celui du pont ). On déterminera par la suite, selon le cas :

- L'ensemble des rapports de la boîte de vitesses, par la relation :

$$Q_{BN}(i) = Q_g(i) / Q_1(J_2) \cdot Q_3(J_4) \quad (5.2)$$

- Le rapport de la boîte de transfert, par la relation :

$$Q_{TN} = Q_g(i) / Q_1(J_2) \cdot Q_2(J_3) \quad (5.3)$$

- Le rapport du pont par la relation :

$$Q_{PN} = Q_g(i) / Q_2(J_3) \cdot Q_3(J_4) \quad (5.4)$$

Ce qui permettra de compléter le groupe motopropulseur par l'élément considéré permettant au véhicule de fonctionner selon le régime nominal du moteur.

On pourra également examiner le cas où l'on dispose uniquement de système de transmission, le moteur qui lui sera couplé peut être déterminé en partie par le biais de ses paramètres nominaux  $W(J)$  et  $N(J)$ . Pour pouvoir déterminer les performances correspondantes, il faudra d'abord adopter le type de moteur parmi ceux possédant les mêmes paramètres nominaux ; car plusieurs moteurs peuvent avoir les mêmes paramètres nominaux, alors que l'allure de leurs caractéristiques est différente /2/.

## 5.2. Equation modèle

Pour pouvoir déterminer le rapport de transmission selon la relation (5.1), il faudra d'abord résoudre l'équation simulant la marche du véhicule sur route. Cette équation est de la forme :

$$F(V, M(K_2), P(I), f, S, C_x, R, \eta_m, W(J)) = 0 \quad (5.5)$$

La résolution des équations de ce type permet de déterminer la vitesse maximale de marche pour chaque classe de conditions d'exploitation.

### 5.3. Paramètres de l'équation modèle

#### 5.3.1. coefficient de résistance de roulement $f$

Ce paramètre dépend de plusieurs variables, /1/, à savoir :

- Le type de pneus
- L'état de la route
- La vitesse de marche
- La pression de gonflage des pneus

La figure (5.2) , /1/ , montre que le coefficient  $f$  est peu sensible à la variation de la vitesse de marche dans l'intervalle des vitesses pouvant être atteintes par les véhicules de transport routier lourds . Ceci est particulièrement valable pour les pneus de type radial , plus souvent utilisés dans la construction des véhicules de ce genre .

Pour une route en Asphalte lisse , le coefficient de résistance au roulement est estimé par  $f_0=0,01$  (/1/ norme NC004, /1/ tableau 1.1 page 28). Pour les vitesses supérieures à 60 km/h la norme NC004 recommande d'évaluer ce coefficient par la relation :

$$f=f_0.\left(1+\frac{V^2}{2.10^4}\right) \quad (5.6)$$

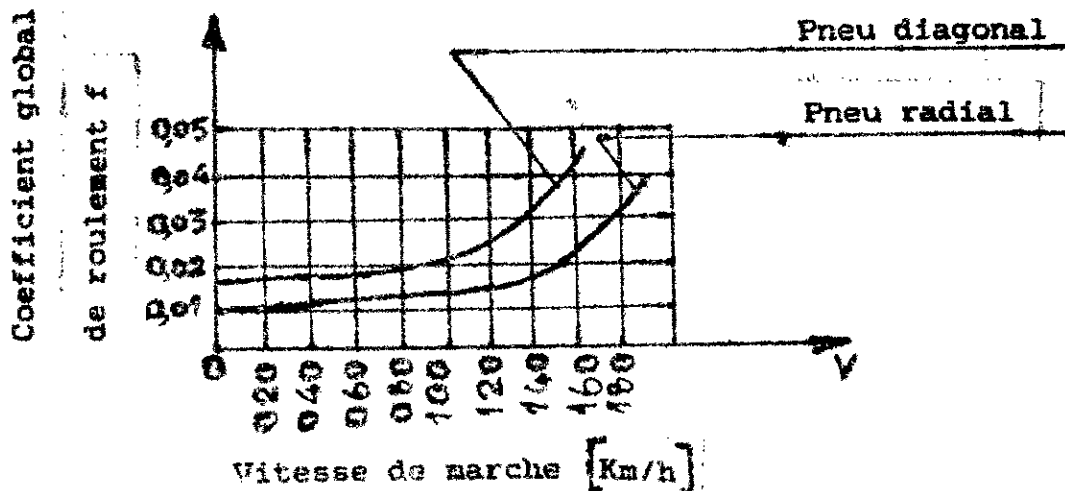


fig 5.2- Variation du coefficient global de roulement avec la vitesse de marche

Comme on peut le remarquer sur la figure (5.2), le coefficient  $f$  très peu sensible à la variation de la vitesse de marche dans l'intervalle 0-120 km/h pour un pneu radial. Cela rend admissible de considérer un valeur moyenne :

$$f = \frac{f_0 + f(120)}{2} \quad (5.7)$$

ou :  $f(120)$  sera calculé par la formule (5.6).

### 5.3.2. La surface frontale $S$

Ce paramètre est estimé par la relation :

$$S = (H.L - h.l) \quad (5.8)$$

Selon /10/ norme NC005 le schéma général du calcul est donné par la figure (5.3) dont les valeurs des cotes sont données par le tableau (5.1), qui contient aussi les valeurs des surfaces frontales correspondantes pour différents types de véhicules de la S.N.V.I/C.V.I de Rouiba.

### 5.3.3. Coefficient de forme $C_x$

Pour un camion tracteur, ce paramètre est estimé par  $C_x = 0.9$  (/10/ norme NC007, /1/ tableau 4.2 page 103).

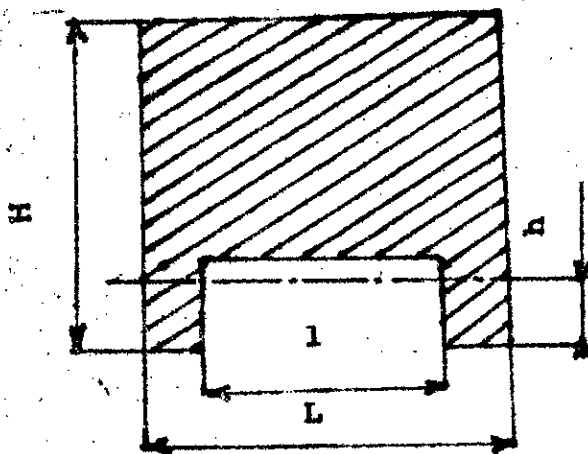


fig 5.3- Schéma du calcul de la surface frontale d'un véhicule selon la Norme NC005, /10/

Tableau (5.1) paramètres de la surface frontale pour différents types de véhicules de la S.N.V.I/C.V.I

Véhicules Cotes	K66	K120	C260	TC260	B260	M260	49V8	100V8
H[m]	2,510	2,747	2,912	2,912	3,044	2,865	3,095	2,920
L[m]	2,000	2,300	2,492	2,492	2,492	2,400	2,500	2,500
l[m]	1,665	1,900	2,026	2,026	2,026	1,970	1,999	2,063
h[m]	0,370	0,473	0,519	0,519	0,519	0,497	0,475	0,487
S [m <sup>2</sup> ]	4,404	5,420	6,205	6,205	6,534	5,897	6,788	6,295

#### 5.3.4. Rendement de transmission

Dans le cas le plus général ce rendement est déterminé par la formule :

$$\eta_m = \eta_b \cdot \eta_p \cdot \eta_t \cdot \eta_M \quad (5.9)$$

(/10/ norme NC003) ou :

p, b, t et M désignent respectivement le pont, la boîte de vitesses, la boîte de transfert et le moteur.

Pour ce qui est du rendement du moteur on distingue deux cas :

- Si la puissance développée par le moteur est évaluée selon la norme DIN on aura  $\eta_M = 1 / 10 /$ , c'est le cas des moteurs fabriqués par K.H.D, Principal fournisseur de la S.N.V.I/C.V.I.
- Si la puissance développée par le moteur est évaluée selon la norme SAE on aura  $\eta_M = 0,92 / 10 /$ .

Aux points de fonctionnement, le véhicule roule sans accélération, à la vitesse maximale pouvant être atteinte dans

les conditions de marche considérées . A cet égard , l'équation (5.5) prend la forme explicite suivante :

$$M(K2) g \frac{p(i)+f}{\sqrt{1+p(i)^2}} \cdot V + \frac{f \cdot C_x \cdot S \cdot V^3}{2} - \eta W(J) = 0 \quad (5.10)$$

Cette relation traduit l'équilibre entre la puissance de propulsion et celle exigée par les conditions de marche .

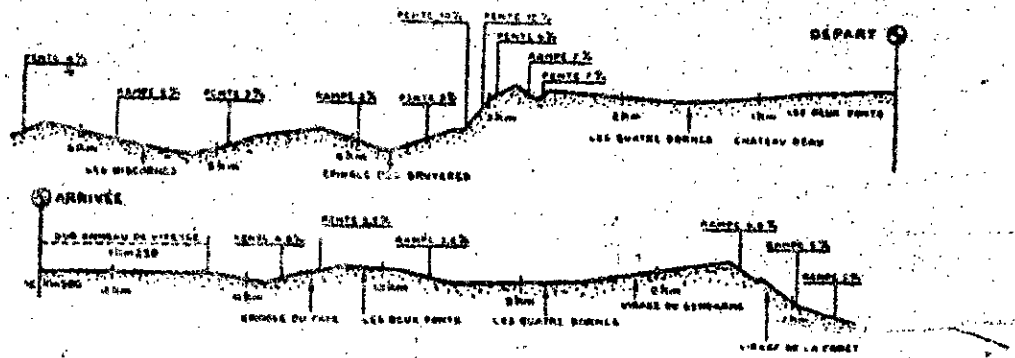
#### 5.4. Modèle de route

Lorsqu'un véhicule circule sur une route , son comportement est fortement lié aux caractéristiques de cette route , dont le modèle devrait indiquer toutes les contraintes qui sont susceptibles d'influencer l'allure du véhicule (virages , carrefours , feu rouge , côtes , descentes , etc ...). Les virages , les carrefours , le feu rouge et les descentes représentent des contraintes de conduite qui ne sont pas fortement liées aux aptitudes du véhicule. Les côtes , par contre , sont en rapport direct avec ces aptitudes , en particulier la vitesse de marche . C'est la raison pour laquelle les modèles des routes n'indiquent que ce dernier type de contraintes ; les autres contraintes peuvent être considérées comme aléas dus à la circulation. Il existe deux manières principales pour représenter un modèle de route :

- Profil en long , figure (5.4-a) /7/ .
- Histogramme , figure (5.4-b) /8/ .

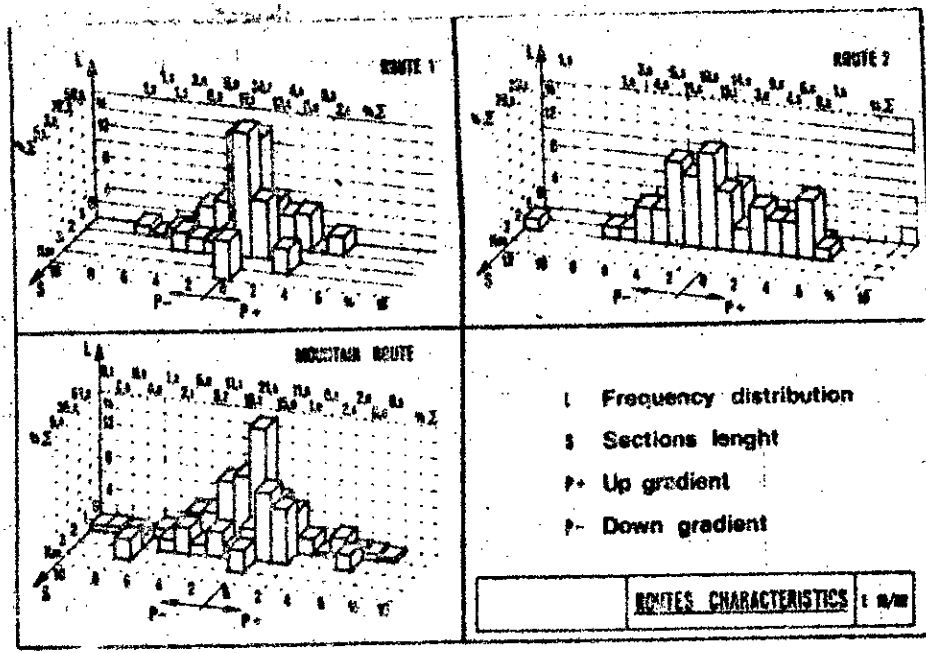
Dans les deux cas , le modèle de route indiquera les diverses distributions de côtes sur le trajet de circulation . Pour les longs trajets , la représentation par histogramme convient mieux dans la mesure où elle indique la proportion du trajet ayant les mêmes caractéristiques . Nous adoptons donc cette façon de faire , pour représenter notre modèle de route , tout comme l'indique le tableau ( 5.2) .

Le modèle de route constitue un support de comparaison entre les diverses variantes de véhicules. Dans cette étude nous allons faire marcher le véhicule sur un trajet constitué de portions caractérisées par des côtes dont la pente varie par pas choisi à volonté ( 1% , 0,5% , 0,25% etc ..) . Les pentes seront désignées par la variable P(Ii) et les pourcentages des trajets



Circuit de vitesse et circuits routiers, avec profil en long, à l'autodrome de Montlhéry.

a



b

fig 5.4- Modèle de route

- a - représentation par profil en long
- b - représentation par hystogramme

Tableau (5.2) profil de route

II	P(II)	L2(II)	II	P(II)	L2(II)	II	P(II)	L2(II)
001	000	54.00	041	040	0.15	081	080	0.050
002	001	09.50	042	041	0.15	082	081	0.050
003	002	05.00	043	042	0.15	083	082	0.050
004	003	03.50	044	043	0.15	084	083	0.050
005	004	02.50	045	044	0.15	085	084	0.050
006	005	02.25	046	045	0.10	086	085	0.050
007	006	01.75	047	046	0.10	087	086	0.050
008	007	01.75	048	047	0.10	088	087	0.050
009	008	01.30	049	048	0.10	089	088	0.050
010	009	01.20	050	049	0.10	090	089	0.050
011	010	01.15	051	050	0.10	091	090	0.050
012	011	01.10	052	052	0.10	092	091	0.050
013	012	01.00	053	052	0.10	093	092	0.050
014	013	01.00	054	053	0.075	094	093	0.025
015	014	01.00	055	054	0.075	095	094	0.025
016	015	00.95	056	055	0.075	096	095	0.025
017	016	00.80	057	056	0.075	097	096	0.025
018	017	00.55	058	057	0.075	098	097	0.025
019	018	00.45	059	058	0.075	099	098	0.025
020	019	00.40	060	059	0.075	100	099	0.025
021	020	00.35	061	060	0.075	101	100	0.025



suite du tableau (5.2)

022	021	00.30	062	061	0.075	102	101	0.025
023	022	00.30	063	062	0.075	103	102	0.025
024	023	00.30	064	063	0.050	104	103	0.025
025	024	00.30	065	064	0.050	105	104	0.025
026	025	00.30	066	065	0.050	106	105	0.025
027	026	00.30	067	066	0.050	107	106	0.025
028	027	00.20	068	067	0.050	108	107	0.025
029	028	00.20	069	068	0.050	109	108	0.025
030	029	00.20	070	069	0.050	110	109	0.025
031	030	00.20	071	070	0.050	111	110	0.025
032	031	00.20	072	071	0.050	112	111	0.025
033	032	00.15	073	072	0.050	113	112	0.025
034	033	00.15	074	073	0.050	114	113	0.025
035	034	00.15	075	074	0.050	115	114	0.025
036	035	00.15	076	075	0.050	116	115	0.025
037	036	00.15	077	076	0.050	117	116	0.025
038	037	00.15	078	077	0.050	118	117	0.025
039	038	00.15	079	078	0.050	119	118	0.025
040	039	00.15	080	079	0.050	120	119	0.025

correspondants seront désignés par la variable  $L(i)$  ou :

Il est un indice qui varie par un pas de 1. Les valeurs numériques de ces deux paramètres qui constituent le modèle de route sur laquelle sera simulée la marche du véhicule sont indiquées dans le tableau (5.2).

Pour la détermination des rapports de transmission, on doit considérer un nombre de classes de conditions de marche correspondant au nombre de rapport de la boîte de vitesses associée. Le modèle de route servira de support de comparaison des performances de différentes variantes de véhicules résultants de couplage de différents éléments constituant le système de propulsion.

### 5.5. Méthode de calcul

Pour adapter l'équation modèle (5.10) au calcul sur ordinateur, on l'écrit sous la forme :

$$A.V + B.V^3 - C = 0 \quad (5.11)$$

Avec :

$$A = K(K_2) g \frac{p(i)+f}{\sqrt{1+p(i)^2}} \quad (5.12)$$

$$B = \frac{f.Cx.S}{2} \quad (5.13)$$

$$C = \eta_m W(J) \quad (5.14)$$

La méthode de Newton-Raphson convient pour la résolution de ce type d'équations. L'algorithme de cette méthode est de la forme :

$$V_{n+1} = V_n - \frac{F(V_n)}{F'(V_n)} \quad (5.15)$$

Le programme informatique associé à cette étape calculera la vitesse de marche par l'algorithme (5.15), le rapport global de transmission par la relation (5.1) et selon le cas :

- l'ensemble de rapports de la boîte de vitesses par la relation (5.2)

- le rapport de la boîte de transfert par la relation (5.3)

ou

- le rapport du pont par la relation (5.4)

Nous disposerons ainsi à la sortie de ce programme d'une chaîne cinématique complète conditionnée par la détermination de l'un des éléments définis ci-dessus.

### 5.6. Détermination des performances des véhicules équipés par système conditionné de propulsion

#### 5.6.1. Equation modèle

Cette équation se présente sous la forme :

$$G(V, M(K2), P(I1), f, Cx, S, Qg(I), R, \eta_m, C1(3), C2(3), C3(3)) = 0 \quad (5.16)$$

Elle traduit l'équilibre entre la caractéristique de marche telle que l'exprime la relation (2.29) et la caractéristique de propulsion telle que l'exprime la relation (4.6), avec :

$$N = \frac{30 \cdot Qg(I)}{3,14 \cdot R} \cdot V \quad (5.17)$$

la relation (4.6) prend la forme :

$$\varphi(V) = C1(3) + C2(3) \cdot \frac{30 \cdot Qg(I)}{3,14 \cdot R} \cdot V + C3(3) \cdot \left( \frac{30 \cdot Qg(I)}{3,14 \cdot R} \right)^2 \cdot V^2 \quad (5.18)$$

Les relations (2.29) et (5.18) permettent de donner à l'équation modèle (5.16) la forme explicite suivante :

$$A1 + B1 \cdot V + C1 \cdot V^2 + D1 \cdot V^3 = 0 \quad (5.19)$$

$$\text{avec : } A1 = -\eta_m \cdot C1(3) \quad (5.20)$$

$$B1 = \left( M(K2) \cdot g \cdot \frac{P(I1) + f}{\sqrt{1 + P(I1)^2}} - \eta_m \cdot C2(3) \cdot \frac{30 \cdot Qg(I)}{3,14 \cdot R} \right) \quad (5.21)$$

$$C1 = -\sqrt[m]{C3(3) \cdot \left( \frac{30.0g(I) \cdot 2}{3.14.R} \right)} \quad (5.22)$$

$$D1 = \frac{P.Cx.S}{2} \quad (5.23)$$

### 5.6.2. Méthode de calcul

L'équation (5.19), à résoudre, a la forme d'un polynôme du troisième degré qui admet trois racines réelles ou une racine réelle et deux racines complexes conjuguées. Elle présente une certaine difficulté au niveau du calcul numérique, car les méthodes itératives qui constituent l'outil principal de ce calcul donnent dans le cas où elles convergent une seule racine qui peut ne pas correspondre à la physique du problème envisagé. Pour parer à cette difficulté, nous avons superposé dans l'algorithme de calcul quatre méthodes itératives dans l'ordre suivant :

- 1) Méthode de Newton, /9/, /13/ :

$$V_{n+1} = V_n - \frac{G(V_n)}{G'(V_n)} \quad (5.24)$$

- 2) Méthode de projections orthogonales, /9/, /13/ :

$$V_{n+1} = V_n - \frac{G(V_n) \cdot G'(V_n)}{1 - G'^2(V_n)} \quad (5.25)$$

- 3) Méthode de Richmond, /9/, /13/ :

$$V_{n+1} = V_n - \frac{2 \cdot G(V_n) \cdot G'(V_n)}{2 \cdot G'^2(V_n) - G(V_n) \cdot G''(V_n)} \quad (5.26)$$

- 4) Méthode d'approximations successives par pas variable, /15/ :

Cette méthode consiste à s'approcher de la racine en ajoutant ou retranchant une valeur convenable à la valeur précédente de la variable à partir d'une valeur initiale  $V_0(11)$  selon le signe et la valeur de la différence entre la

caractéristique de marche  $P(V)$  et celle de la propulsion  $P(N)$ , figure (5.5).

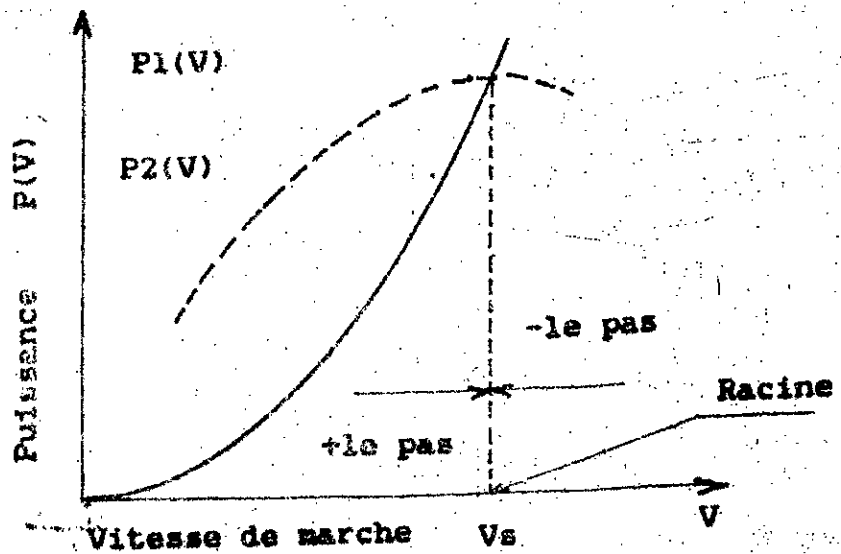


fig 5.5 - Illustration graphique de la méthode d'approche par pas variable

L'aspect informatique associé à cette étape de la thèse est traité dans la partie (B) du schéma bloc, figure (3.2). Le programme correspondant calcule la vitesse de marche  $V$  dans les conditions prévues dans le modèle de route et évalue les performances des véhicules correspondants telles qu'elles sont définies dans le paragraphe (6.2).

La détermination d'un nouvel élément de la chaîne cinématique (boîte de vitesses, pont ou boîte de transfert) permettra, d'une part, de compléter le système de propulsion auquel cet élément manque et d'autre part de comparer l'élément en question à ceux disponibles dans le stock pour une éventuelle adaptation de ces derniers.

Pour la boîte de vitesses, cette comparaison pourra se faire selon l'étendue couverte par ses rapports de transmission, comme le montre l'hystogramme de la figure (5.6).

Boîtes de vitesses	Etranges couvertes par les rapports de transmission	
BVR		
BV(1)	1,00	7,71
BV(2)	1,00	6,02
BV(3)	0,77	7,595
BV(4)	0,77	9,95
BV(5)	0,657	6,04
BV(6)	0,714	5,50
BV(7)	1,00	4,74
BV(8)	0,75	11,09
BV(9)	0,82	9,01
BV(10)	0,85	11,64
BV(11)	0,77	7,595

fig 5.6 : Etranges des rapports de transmission

## Chapitre 6: Détermination des performances des véhicules

### S.N.V.I/C.V.I de Rouiba

#### 6.1. Equation modèle

Cette étape de l'étude utilise les informations déduites des étapes précédentes ( chapitres : 2, 4, 5 ). Elle vise un objectif essentiel pour cette étude, à savoir le couplage de tous les sous-ensembles utilisés dans la construction des véhicules de la S.N.V.I/C.V.I de Rouiba ( N1 moteurs, N2 boîtes de vitesses, N3 boîtes de transfert, N4 ponts ) pour former des groupes moto-propulseurs destinés à équiper les véhicules du C.V.I, et déterminer par la suite les performances de ces véhicules telles qu'elles sont définies dans les paragraphes (2.4 et 6.2). Le modèle de la route est indiqué dans le tableau (5.6). L'aspect informatique lié à cette étape de la thèse est traité dans la partie C du schéma blocs, figure (3.2) et dans le bloc C de l'organigramme global ( Annexe I ) et le logiciel qui lui coorespond .

L'ensemble des équations à résoudre dans cette étape se présente sous la forme :

$$H(V, M(K2), g, P(I1), f, Cx, S, Q(J2), Q(J3), Q(J4), R, C1(3), \eta_m) = 0 \quad (6.1)$$

Les paramètres de cette équation sont déterminés en partie dans le chapitre (4) bloc A de l'organigramme et le logiciel qui lui est associé .

Le reste est déterminé dans le chapitre (5) . La forme explicite de l'équation modèle (6.1) s'écrit :

$$A2 + B2.V + C2.V^2 + D2.V^3 = 0 \quad (6.2)$$

Avec :

$$A2 = -C1(3) \cdot \eta(J2) \cdot \eta(J3) \cdot \eta(J4) \quad (6.3)$$

$$B2 = M(K2) \cdot g \cdot \frac{P(I1) + f}{\sqrt{1 + P(I1)^2}} - \frac{\eta_m C2(3) \cdot 30 \cdot Q1(J2) \cdot Q2(J3) \cdot Q3(J4)}{3,14 \cdot R} \quad (6.4)$$

$$C2 = - \frac{C3(3) \cdot (30 \cdot Q1(J2) \cdot Q2(J3) \cdot Q3(J4))^2}{(3,14 \cdot R)^2} \quad (6.5)$$

$$D2 = \frac{P.Cx.S}{2}$$

(6.6)

## 6.2. Méthode de calcul .

Pour les raisons citées dans le paragraphe 6.3.2 , l'algorithme du calcul superpose les quatre mêmes méthodes que dans ce même paragraphe . Le logiciel associé à cette étape ( bloc C ) calcule la vitesse de marche V et évalue par la suite les performances des véhicules construits ou susceptibles d'être construits par la S.N.V.I/C.V.I telles qu'elles sont indiquées dans le chapitre (2) à savoir :

- La vitesse moyenne de marche : Vm
- La vitesse maximale de marche sur palier : Vp
- La pente maximale surmontée : Pe
- La réserve moyenne d'accélération : Rma
- Le couple maximal au niveau des roues motrices : CL
- La charge transportée : Ch
- La consommation moyenne de carburant : Cm
- La vitesse de marche Ve correspondante à la pente maximale Pe
- Le temps de mise en vitesse : Tmv

Après avoir achevé le travail d'analyse concernant la méthode de simulation de la marche d'un véhicule sur route , on a procédé à l'élaboration de l'organigramme global de cette méthode annexe (I) . Cet organigramme est ensuite traduit en un enchaînement d'instructions dans un langage acceptable par l'ordinateur ( Basic ) ; c'est le logiciel global de la méthode de simulation , annexe (II) . L'exécution de ce logiciel sur l'ordinateur Vax 11/730 de l'Ecole Nationale Polytechnique nous a permis d'évaluer l'ensemble des performances liées à la marche du véhicule sur route citées ci-dessus . Les informations concernant ces performances seront exploitées par les constructeurs de la S.N.V.I/C.V.I pour orienter leurs choix sur les groupes motopropulseurs qui équipent leurs véhicules .



## Chapitre 7: Exploitation des résultats

La question de la sélection s'impose chaque fois qu'on est en présence de plus d'une solution acceptable pour un problème posé. Cette solution dite meilleure pour un critère fixé est nommée "solution optimale" de ce problème pour ce critère. Pour qu'une solution soit déclarée acceptable, il faut que les valeurs des paramètres décrivant la variante de système qui lui correspond répondent aux exigences techniques et technologiques imposées à ce système.

En général, ces conditions sont satisfaites par plus d'un seul ensemble de valeurs de ces paramètres décrivant les propriétés du système en question. Cela rend possible le choix du meilleur ensemble c.à.d la meilleure variante conformément à un critère déjà fixé.

Ce critère est en général composé par un nombre approprié de sous-critères qui constituent le critère global d'optimisation. Celui-ci est une sorte de compromis formulé de manière à exprimer la volonté du constructeur qui s'efforce à satisfaire les demandes formulées par le secteur utilisant son produit.

Soit  $X_i$  ( $i = 1, 2 \dots n$ ), l'ensemble de paramètres dont dépendent les performances du système technique envisagé (Véhicule de transport routier lourd). Les conditions qui déterminent l'acceptabilité de la solution au point de vue compatibilité du couplage de différents sous-ensembles sont comme suit :

$$\begin{aligned} C(J) &\leq C(I_2)a, \quad N(J) \leq N(I_2)a & J &= 1, 2 \dots N_1 \\ C(I_2) &\leq C(I_3)a, \quad N(I_2) \leq N(I_3)a & I_2 &= 1, 2 \dots N_2 \\ C(I_3) &\leq C(J_2)a, \quad N(I_3) \leq N(J_2)a & J_2 &= 1, 2 \dots N_3 \\ & & I_3 &= 1, 2 \dots N_4 \end{aligned} \quad (1)$$

ou :

-  $C(J)$ ,  $N(J)$ ,  $C(I_2)$ ,  $N(I_2)$ ,  $C(I_3)$ ,  $N(I_3)$  sont respectivement les couples et les vitesses de rotation à la sortie du moteur de la boîte de vitesses et de la boîte de transfert.

- C(I2)a , N(I2)a , C(I3)a , N(I3)a , C(J2)a , N(J2)a sont respectivement les couples et les vitesses de rotation admissibles à l'entrée de la boîte de vitesse , la boîte de transfert et le pont .

D'une manière plus universelle , les performances routières du véhicule sont affectés par des coefficients de pondération , selon l'importance relatives que présentent les unes par rapport aux autres pour l'utilisateur du camion. Les sommes obtenues en additionnant les différentes performances affectées des coefficients de pondération, servent comme éléments de comparaison.

Dans le cas où l'une des conditions (1) n'est pas satisfaite ; le logiciel signale l'incompatibilité du couplage et demande à son partenaire de lui indiquer l'élément qu'il désire changer .

Les combinaisons pour lesquelles les conditions (1) sont vérifiées seront soumises à une série de tests affectant leur performances afin de s'assurer qu'elles répondent au compromis de choix , formulé de la façon suivante :

$$\begin{aligned}
 F_j ( X_1, X_2, \dots, X_n ) &> F_{0j} & j &= 1, 2 \dots m \\
 G_k ( X_1, X_2, \dots, X_n ) &\leq G_{0k} & k &= 1, 2 \dots l
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Ce dernier est établi par le constructeur en se basant sur les informations qui lui sont fournies par son service de Marketing ou après avoir analysé les spécifications contenues dans les commandes de ses clients .

La forme explicite concrétisant le compromis du choix conformément aux conditions (2) , se présente comme suit :

$$\begin{aligned}
 V_m &> V_{m0} & V_p &> V_{p0} & P_e &> P_{e0} \\
 R_{ma} &> R_{ma0} & C_L &> C_{L0} & C_h &> C_{h0} \\
 C_m &\leq C_{m0} & V_e &> V_{e0} & T_{mv} &\leq T_{mv0}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

L'ensemble Xi représente quatre groupes de paramètres :

- 1) - Caractéristiques des moteurs
- 2) - Caractéristiques de la transmission
- 3) - Caractéristiques de route
- 4) - Architecture du véhicule

Les variantes retenues sont celles qui répondent le mieux aux conditions (1) et (3) selon la destination du véhicule à construire. Ainsi le choix définitif se fait en comparant entre elles les variantes répondant aux conditions (1) et (3), par le biais des sommes de leur performances affectées des coefficients de pondération.

Le logiciel associé à cette étude permet de déterminer les performances d'un nombre illimité de variantes de véhicules chaque fois qu'on dispose de quatre groupes de paramètres ci-dessus. Nous considérons à titre d'interprétation deux échantillons de résultats obtenus en faisant coupler un moteur pris du stock de la S.N.V.I/C.V.I avec :

- Une boîte de vitesses et tous les ponts disponibles dans le stock du constructeur, tableau (7.1).
- Un pont et toutes les boîtes de vitesses disponibles dans le stock de ce même constructeur, tableau (7.2).

L'analyse de ces deux échantillons permet de constater que les éléments de la chaîne cinématique influent différemment sur chacune des performances caractérisant le véhicule qu'ils équipent. Le pont agit par son rendement mécanique et par son rapport de réduction. Le rendement mécanique lorsqu'il est meilleur influence tous les résultats dans le bon sens. Le rapport de réduction, quant à lui, en augmentant, il influe :

1) - Dans le bon sens sur :

- La pente maximale  $P_e$
- Le couple maximal  $CL$
- La réserve d'accélération  $R_{ma}$

2) - Dans le mauvais sens sur :

- La consommation moyenne  $C_m$
- La vitesse moyenne  $V_m$
- Le temps de mise en vitesse  $T_{vm}$
- La vitesse  $V_e$  correspondante à la pente  $P_e$
- La vitesse de marche sur palier  $V_p$

Tableau (7.1) premier échantillon de résultats

Eléments couplés	MOT(1) , B(1)									
	PM(1)	PM(2)	PM(3)	PM(4)	PM(5)	PM(6)	PM(7)	PM(8)	PM(9)	PM(10)
Performances										
Vm [Km/h]	49.26	47.37	45.62	42.76	39.40	35.63	36.23	33.96	31.86	45.26
Vp [Km/h]	107.26	108.54	107.54	102.84	96.71	87.33	89.10	81.44	74.73	106.12
Pe [%]	23	25	29	33	39	49	48	57	67	28
Rma [m/s]	0.1997	0.2159	0.2287	0.249	0.2754	0.3147	0.3091	0.3397	0.3702	0.2223
CL [N.m]	41720.2	44989.5	51382.8	75572	66443	80043.3	78751.8	89824	100698	49802.4
Ch [Tonnes]	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Cm [L/100Km]	29.18	29.62	31.20	33.26	34.80	36.74	36.23	38.24	39.65	31.64
Ve [Km/h]	7.20	7.52	6.34	5.26	4.75	3.89	3.97	5.59	3.01	6.36
Tmv [s]	138.62	127.42	116.11	99.63	82.5	63.92	66.45	54.4	45.3	117.93

Tableau (7.2) deuxième échantillon de résultats

Eléments couplés	MOT(1) - PM(4)										
	B(1)	B(2)	B(3)	B(4)	B(5)	B(6)	B(7)	B(8)	B(9)	B(10)	B(11)
Performances											
Vm [Km/h]	44.31	48.11	46.15	41.20	49.20	51.28	50.55	46.44	42.76	38.54	45.56
Vp [Km/h]	95.54	95.54	103.68	103.68	105.7	105.25	95.54	105.3	102.84	101.6	103.8
Pe [%]	27	20	25	35	20	18	16	26	33	44	26
Rma [m/s]	0.249	0.243	0.2154	0.2158	0.18	0.195	0.229	0.211	0.224	0.231	0.213
CL [N.m]	48209	36739	44988	60586	36739	33369	29964	46605	57572	73432	46604
Ch [Tonne]	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Cm [L/100 Km]	30.70	27.87	31.42	34.83	29.20	28.17	26.28	30.91	33.26	36.44	31.57
Ve [Km/h]	6.20	8.58	6.89	4.96	6.80	9.75	10.96	6.76	5.26	4.04	6.23
Tmv [s]	99.63	99.60	127.1	127.08	149.2	136.1	102.5	129.9	120.9	117.3	127.3

La boîte de vitesses agit par ses rapports de transmission, par le rendement mécanique et par l'espacement de ces rapports. Le rendement mécanique et le rapport de transmission d'une boîte de vitesses influent sur le résultat de la même façon que ceux d'un pont. L'influence de l'espacement des rapports n'apparaît que lorsqu'on compare deux variantes de véhicules comportant deux boîtes de vitesses de même nombre de rapports, de mêmes rapports extrêmes (minimal et maximal) et d'espacements différents entre ces rapports. Cette comparaison nous permet de constater que l'influence de ce paramètre n'affecte que les grandeurs moyennes; plus l'espacement sera uniforme plus les résultats seront meilleurs.

Pour les deux échantillons de résultats que l'on vient d'interpréter, l'influence de chaque élément de la chaîne cinématique sur le comportement routier d'un véhicule est conforme à son rôle dans le système de propulsion de ce véhicule.

Examinons le cas où l'on ait à choisir entre deux solutions répondant toutes les deux aux conditions (1) et (3).

Si on s'intéresse plus à la consommation, à la vitesse et au temps de mise en vitesse, ce sera la première variante qu'on retiendra. Si par contre, on s'intéresse davantage à la pente maximale au couple et à la réserve d'accélération, ce sera sur la seconde variante qu'on optera, tableau (3.7). Le souci du constructeur étant de satisfaire les besoins des secteurs utilisateurs, c'est donc la destination du véhicule qui l'oriente lorsqu'il procède à la sélection des variantes selon lesquelles il construira ses véhicules.

Tableau (7.3) : performances de deux variantes d'un véhicule

Eléments couplés	Performances du véhicule correspondant								
	V <sub>m</sub>	V <sub>p</sub>	P <sub>e</sub>	R <sub>ma</sub>	CL	Ch	C <sub>n</sub>	V <sub>e</sub>	T <sub>av</sub>
	[Km/h]	[Km/h]	[%]	[m/s <sup>2</sup> ]	[N.m]	[Tonne]	[Litres/100Km]	[Km/h]	[s]
MOT(1) BV(9) PM(4)	42,76	102,84	33	0,2243	57572	35	33,26	5,26	120,88
MOT(1) BV(9) PM(5)	39,40	96,70	39	0,2383	66443	35	34,80	4,75	107,20

## Conclusion et recommandations

Cette étude nous a permis d'élaborer une méthode globale de simulation de la marche d'un véhicule sur route par ordinateur destinée à faire un choix approprié des éléments de groupes motopropulseurs pour équiper les véhicules routiers lourds. C'est une méthode opérationnelle pour laquelle nous avons envisagé deux cas :

- Le cas de groupes motopropulseurs conditionnés par la détermination d'un élément de la transmission (boîte de vitesses, boîte de transfert ou pont). Ce qui permettra au constructeur de compléter la chaîne cinématique, d'une part et de l'orienter vers d'éventuelles adaptations des éléments de son stock, d'autre part.

- Le cas de groupes motopropulseurs composés par couplage des éléments utilisés par la S.N.V.I/C.V.I. Ce dernier cas traite les véhicules de ce constructeur.

Cette méthode de simulation nous a permis de déterminer l'ensemble des performances routières d'un véhicule dans sa marche sur un trajet-test, telles qu'elles sont définies dans le paragraphe (6.2). Ceci permettra au constructeur concerné de mieux adapter ses véhicules aux conditions de leur utilisation.

Le mérite de cette méthode réside dans ce qu'elle offre comme possibilité d'investigation préliminaire à partir d'une gamme très variée. Ce qui permettra au constructeur de ne soumettre à l'essai que les variantes qui seront sélectionnées par méthode de simulation.

En guise de recommandation, je suggère que la voie ouverte par cette thèse soit poursuivie par d'autres études, façon à expérimenter les variantes qui seront retenues par la S.N.V.I/C.V.I ; expériences par lesquelles on pourra suivre l'évolution de la technologie dans le domaine de construction des véhicules industriels chez nous, que le secteur universitaire et le secteur industriel soient portés-ouvertes l'un vis-à-vis de l'autre. Il est donc à souhaiter que cette étude soit suivie par d'autres plus concrètes faites d'expérimentations et d'enquêtes techniques chez les utilisateurs afin d'affiner cette méthode de simulation pour le bénéfice mutuel de l'industrie et de la formation supérieure de ses cadres.

## Bibliographie

- /1/ Manfred Mitschke.-Dynamik der kraftfahrzeuge  
springer-Verlag . Berlin Heidelberg , New York , 1972 .
- /2/ Chagette , J. - Technique automobile . Tomes I et II .  
Paris , 1977 .
- /3/ Roussillon,G. - Ingénieurs de l'automobile . N°8 , 1978 .
- /4/ Régis,B.- Technique de l'ingénieur. B 885 ,Paris 1967
- /5/ Bariol , R. - Ingénieurs de l'automobile . N°8 , 1978 .
- /6/ Quinchon , J. - Ingénieurs de l'automobile .N°12 , 1970 .
- /7/ Gueber , R. - L'automobile . Paris , 1974 .
- /8/ Alweswerth, R. - Ingénieurs de l'automobile. N°10, 1981 .
- /9/ Vignes ,J. - Algorithmes numériques . Tome II , 1980 .
- /10/ Normes du bureau d'études de la S.N.V.I/C.V.I de Rouiba
- /11/ Boukabache , M. - Étude des vibrations de torsion du  
groupe motopropulseur des véhicules S.N.V.I/C.V.I .  
Alger , 1982 .
- /12/ Byrons . Gottfried . - Programmation Basic . 1982 .
- /13/ Boumahrath , M. - Méthodes numériques . Théorie et  
application . 1984 .
- /14/ Tableau d'affectation des moteurs , boîte de vitesses ,  
Ponts . Technique Diesel N°140 . Août-Septembre 1986 .
- /15/ Ross Ashby , W. - Introduction à la cybernétique .  
Paris 1958 .
- /16/ Goode , H. H. - Méthodes d'étude des systèmes techniques  
complexes . Paris , 1963 .
- /17/ Linnik, Y.V. - Méthode des moindres carrés. Paris, 1963



- /18/ Peuetier, J. P. - Techniques numériques appliquées au calcul scientifique. Masson et Cie, 1971.
- /19/ Mugitot, J. - Le mécanicien d'automobile. Tomes I et III. Paris, 1982.
- /20/ Boisseau, M. - L'automobile : Calcul des organes. Paris, 1966.
- /21/ Leduc, B. - Les bases théoriques de la comparaison des performances des véhicules équipés des moteurs à essence et moteurs Diesel. Revue Tijdschrift. N°1, 1984.
- /22/ Lees, G. - Rolling resistance. Ingénieurs de l'automobile. janvier - Février, 1987.
- /23/ Descornet, G. - Influence des caractéristiques de surface sur la résistance au roulement. Ingénieurs de l'automobile. Janvier - Février, 1987.
- /24/ Bonnetain, Y. - La puissance pourquoi faire. Ingénieurs de l'automobile. Décembre, 1986.
- /25/ Langumler, M.C. - Une dynamique, la route et le véhicule. Ingénieurs de l'automobile. Janvier - Février, 1987.
- /26/ Duval, M. A. - Le pneu dans les modèles de comportement des véhicules. Ingénieurs de l'automobile. N° , 1973.
- /27/ Pauly, M.A. - Conception d'un modèle mathématique pour la simulation du comportement routier des véhicules à l'aide d'un ordinateur. Ingénieurs de l'automobile N°12, 1973.
- /28/ Chorafas, D.N. - La simulation mathématique et ses applications. Paris, 1966.